

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

**STUDIE MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ SOUČÁSTI
ODĚVU PRO DETEKCI PRŮSTŘELU**

**A STUDY OF POSSIBILITIES OF USING
GARMENT PARTS FOR PENETRATION
DETECTION**

Liberec 2007

Julius Prokop

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová (bakalářská) práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové (bakalářské) práce v Univerzitní knihovně TUL. Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (bakalářské) práce a prohlašuji, že s o u h l a s í m s případným užitím mé diplomové (bakalářské) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (bakalářské) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12. 5. 2007

.....

Podpis

Chtěl bych poděkovat prof. Dr. Ing. Zdeňku Kůsovi ze vedení diplomové práce, Ing. Miroslavu Novákovi, Ph.D. za poskytnutí přístrojů a pomoc při praktické realizaci, Ing. Zdeňku Hrochovi, Ph.D. ze společnosti Spolsin s.r.o. za poskytnutí vzorku zkušebního materiálu. Dále bych rád poděkoval svému otci za pomoc a podnětné připomínky a své přítelkyni za trpělivost a kontrolu práce po jazykové stránce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá oblastí inteligentních textilií. Je v ní provedeno rozdělení těchto textilií a uvedeny konkrétní příklady. Práce je zaměřena na pasivní inteligentní textilie, především na tzv. nositelnou elektroniku. Oblast nositelné elektroniky je rozebrána od možnosti napájení, připevnění elektroniky na textilii a její vzájemné propojování pomocí elektricky vodivých cest, které jsou součástí textilie, až po ukázky již vytvořených konečných aplikací.

Experimentální část se zabývá možností vytvoření senzoru, který by umožňoval rozpoznat zranění po průchodu předmětu textilním materiálem. Kromě pouhé identifikace zranění by měl senzor vyhodnotit i místo, ve kterém byla textilie porušena. Byly navrženy, vytvořeny a odzkoušeny různé způsoby vyhodnocení místa porušení. V této práci je popsán jejich princip a zhodnocena jejich vhodnost pro praktické užití. Dále chce tato práce poukázat na směr, kterým by měl vývoj v této oblasti pokračovat.

Klíčová slova

Nositelná elektronika

Inteligentní textilie

Textilní senzor

Elektricky vodivá vlákna

Určení zranění

Porušení materiálu

Abstract

This thesis deals with the area of smart textiles. These are divided into groups and their practical applications are described. The main focus of the thesis is on passive smart textiles with so-called 'wearable electronics' in particular. The area of wearable electronics is described beginning with possibilities of power supply, then considering possible attachment of the electronics to the textile, further examining its connection via conductors and ending with final application demonstrations.

The section on practical experiments deals with possible development of a sensor that would facilitate injury recognition once an object passes through the textile material. Apart from the injury recognition, the sensor should also identify the penetration location. Several means of identifying the penetration location were designed, developed and tested. The thesis outlines their mechanisms and estimates their suitability for practical applications. In addition, the course of possible development in this area is suggested.

Key words

Wearable electronics

Smart textiles

Textile sensor

Electrically conductive fibers

Injury identification

Material penetration

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Definice inteligentních textilií	11
3.	Nositelná elektronika (wearable electronics).....	13
3.1.	Úvod.....	13
3.2.	Možnosti využití nositelné elektroniky.....	15
3.3.	Ukázky nositelné elektroniky.....	21
3.3.1.	Textilní klávesnice vyrobené v Softswitch Ltd, MIT a ElekTex.....	21
3.3.2.	Světélkující šaty FireFly.....	25
3.3.3.	Inteligentní oděv (GTWM).....	26
4.	Textilní čidla a snímače	28
4.1.	Měření EKG a frekvence dýchání pomocí textilních senzorů	29
4.1.1.	Měření EKG	29
4.1.2.	Měření frekvence dýchání	32
4.2.	Měření teploty pomocí textilního senzoru	34
4.2.1.	Fyzikální princip měření teploty.....	34
4.2.2.	Hybridní textilní snímač.....	34
4.2.3.	Měřicí princip	35
4.2.4.	Teoretická teplotní přesnost	36
4.2.5.	Teplotní povrchový profil	37
4.2.6.	Možnosti využití měření podél povrchu.....	38
5.	Integrace elektroniky do textilu	38
5.1.	Textilie s elektronickou funkcí.....	38
5.2.	Připevnění elektronických komponent	45
5.3.	Zdroje elektrické energie	47
6.	Experimentální část	49
6.1.	Měřicí princip	49
6.2.	Textilní senzor.....	50
6.2.1.	Princip textilního senzoru.....	52
6.2.2.	Citlivost textilního senzoru.....	53
6.3.	Propojení elektroniky s textilem.....	57
6.4.	Elektronický vyhodnocovací obvod	59
6.4.1.	Vyhodnocovací obvod realizovaný pomocí multiplexoru	59
6.4.1.1.	Integrovaný stabilizátor napětí na 5V (TS7805).....	63
6.4.1.2.	555 časovač (NE555N).....	64
6.4.1.3.	Multiplexor (MH74150).....	66
6.4.1.4.	Čítač (SN74LS93).....	66
6.4.1.5.	Univerzální 4-bitový registr (MB74LS194A)	67
6.4.1.6.	AND (T74LS09B1).....	68
6.4.2.	Vyhodnocovací obvod ATiny26(L) s diodovou maticí	69
6.4.2.1.	Vývojový diagram.....	71
6.4.2.2.	ATiny26(L).....	73
6.4.3.	Vyhodnocovací obvod ATiny26(L) s odporovou maticí	75
6.5.	Porovnání metod.....	76
7.	Závěr.....	78
	Přílohy	83

Seznam použitých zkratek a symbolů

EU	Evropská Unie
GPS	Globální navigační systém
PDA	Osobní digitální asistent
SIDS	Syndrom náhlého úmrtí novorozence
MP3	Formát hudebních souborů
ISM	Kmitočtové pásmo pro datovou komunikaci
DECT	Mezinárodní standard pro bezdrátový přenos hlasu a dat
WLAN	Bezdrátová místní síť
IEEE 802.11b/g	Protokol pro bezdrátovou komunikaci
QTC	Kompozit skládající se z elastomeru a kovových částic
LED	Dioda emitující světlo
GTWM	Georgia Tech Wearable Motherboard - Nositelná základní deska
EKG	Elektrokardiogram
EEPROM	Elektricky mazatelná paměť
SNR	Odstup signál šum
CMRR	Potlačení vlivu součtového signálu
PET	Polyester
LSB	Nejnižší platný bit
AD	Analogově-digitální převodník
CAD	Projektování pomocí počítače
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NATO	Severoatlantická aliance
CMOS	Logika založená na tranzistoru řízeném polem
RISC	Architektura čipu
CPU	Procesor
MIPS	Milion instrukcí za sekundu
SRAM	Statická paměť
SPI	Rozhraní pro sériový port
PDIP/SOIC	Způsob uložení vývodů mikročipu
QFN/MLF	Způsob uložení vývodů mikročipu
TTL	Tranzistorově tranzistorová logika

$R [\Omega]$	Elektrický odpor
$\rho [\Omega/\text{m}]$	Měrný elektrický odpor
$S [\text{m}^2]$	Plocha
$l [\text{m}]$	Délka
$\alpha [1/\text{K}]$	Teplotní součinitel odporu
$U [\text{V}]$	Elektrické napětí
$T [\text{K}]$	Teplota
bits [-]	Binární hodnota
$G [\text{S}]$	Elektrická vodivost
$I [\text{A}]$	Elektrický proud
$\sigma [\text{S}/\text{m}]$	Měrná elektrická vodivost
$P [\text{m}^2]$	Přesnost určení místa porušení
$f [\text{Hz}]$	Frekvence
$C [\text{F}]$	Kapacita

1. Úvod

V dnešní době do Evropy a celého tzv. „západního“ světa přichází levné textilní zboží, které pochází hlavně z Asie. Po zrušení dovozních kvót pro Čínu je Evropa levným čínským textilem doslova zaplavena. Klasický textilní průmysl z hlediska masové výroby textilií, oděvů atd. nemá šanci tomuto levnému textilu konkurovat. Pracovní podmínky a náklady na pracovní sílu jsou mezi Asií a „západním“ světem nesrovnatelné. Z toho vyplývá i neschopnost konkurovat cenám asijského zboží a obecně úpadek textilního průmyslu v Evropě.

Jedinou možností, jak úpadku zamezit bez zásahu státní moci (EU), tedy opětovného zavedení kvót a cel, což ovšem není příliš reálné, je specializace. Jednou z možností specializace je rozvoj oblasti inteligentních textilií. To jsou textilie, které jsou, oproti klasickému textilnímu zboží, citlivé na vnější podněty a mají schopnost na ně reagovat.

Pro materiálové inženýrství je zde možnost výzkumu a vývoje nových materiálů, které mohou být použity pro aktivní inteligentní textilie.

U pasivních inteligentních textilií, tedy těch, které potřebují pro svou funkci další zařízení (elektroniku), jsou rovněž rozsáhlé možnosti použití. Díky neustálému vývoji a miniaturizaci elektroniky je dnes vhodná doba na její propojení s textilem za účelem získání nových funkcí a vlastností pro textilní zboží. Navíc jsou i poměrně složité elektronické součástky relativně levné, což umožňuje při rozumném zvýšení ceny textilního výrobku jeho doplnění o nové možnosti tak, aby jím přilákal zákazníky a tím konkuroval levnému zboží z Asie.

Oblast propojení elektroniky a textilu je velice široká od vytvoření textilních senzorů pro průmyslové aplikace po integraci elektroniky přímo do oděvu. Právě díky rozvoji elektroniky již oblast jejího propojení s textilem nevypadá jako science-fiction a kromě prototypů a různých výzkumných projektů existují i výrobky, které si můžeme běžně koupit ve specializovaných obchodech nebo na internetu.

Největším problémem je zatím fyzické propojení textilie a elektroniky, ale i v této oblasti probíhá rozsáhlý výzkum. Jakmile se najde optimální řešení tohoto propojení a integrace elektroniky přímo do textilního materiálu, další aplikace budou rychle přibývat a hledat si své místo na trhu.

2. Definice inteligentních textilií

V souvislosti s rozvojem nových materiálů, struktur a technologií v oblasti textilu byl zaveden pojem inteligentní textilie (smart textiles). Toto označení má identifikovat rozdíl oproti tradičně používaným textilním materiálům.

Jako inteligentní (smart) textilie bývají označovány textilní struktury, které jsou citlivé na působení vnějších podnětů (různé typy záření, pH, mechanické, magnetické nebo elektrické pole) a zároveň jsou schopné na tyto vnější podněty reagovat. Podle způsobu reakce je můžeme rozdělit na pasivní a aktivní.

Pasivní inteligentní textilie - do této kategorie patří řada textilií fungujících jako senzory a identifikátory stavu okolí, které však nejsou bez dalšího zařízení schopné samy vnější podněty vyhodnotit. Jsou to například kovová nebo optická vlákna začleněná do struktury textilie, přičemž jsou optická vlákna kromě přenosu světelného signálu citlivá na řadu podnětů jako je deformace, tlak, koncentrace chemikálií, elektrický proud nebo magnetické pole. Mezi pasivní inteligentní textilie patří také tzv. nositelná elektronika (wearable electronics), kde textilní materiál slouží jako nosná, propojovací nebo i ovládací část spojená s elektronikou (například mobilní telefony, MP3 přehrávače, GPS atd.) připevněnou jako součást oděvu.

Aktivní inteligentní textilie - tato kategorie inteligentních textilií je kromě schopnosti identifikovat jistý stav okolí schopná zároveň na tyto podněty z okolí samostatně reagovat. Příkladem jsou textilie měnící barvu na základě změny teploty označované jako chameleonné, textilie reagující na změnu tepla (schopné uložení nebo uvolnění tepelné energie), textilie s tvarovou pamětí (měnící tvar podle ohřevu nebo ochlazení), textilie s variabilní propustností pro vodní páry a textilie stabilizující teplotu. Z kategorie aktivních inteligentních textilií můžeme ještě vyčlenit textilie označované jako vysoce aktivní textilie, které se kromě indikace a reakce na změnu okolí přizpůsobí nově vzniklým podmínkám.

Intelligentní textilie jsou vhodným materiálem pro řadu aplikací díky svým jedinečným vlastnostem, které přebírají od tradičních textilních materiálů [1]:

- jsou snadno spojitelné nebo rozebíratelné
- dají se snadno udržovat (například praním)
- mají malou hmotnost
- jsou dostatečně pevné, tažné, pružné
- jednoduše formulovatelné podle potřeb bez nutnosti změny technologie výroby
- mají extrémně velký měrný povrch
- mají nízkou cenu

Dále budou uvedeny příklady pasivních inteligentních textilií. Pasivní inteligentní textilie se špatně řadí do skupin, narozdíl od aktivních, u nichž se dají skupiny vytvořit dle jejich reakce na vnější podnět.

Kromě základního rozdělení pasivních inteligentních textilií na senzory a nositelnou elektroniku je jejich charakter a způsob "intelligence" dán především přídavným zařízením, které vlastně ovlivňuje celý ráz konkrétní aplikace, přičemž u senzorů je to vyhodnocovací obvod a u nositelné elektroniky je to sama elektronika. Proto se zde jeví jako rozumnější rozřazení podle druhu činností, kde jsou "intelligentní" vlastnosti textilie využity, a ukázek konkrétních aplikací, které již byly různými společnostmi a výzkumnými týmy vytvořeny jako součásti studií, prototypy nebo aplikace, které již našly komerční uplatnění a jsou volně na trhu.

3. Nositelná elektronika (wearable electronics)

3.1. Úvod

V dnešní době nás elektronika obklopuje téměř na každém kroku a je spojena s naší každodenní činností. Právě velký rozvoj elektroniky, její miniaturizace, snižující se ceny a masové rozšíření, které se dnes již neomezuje pouze na vyspělé země, vedly k rozvoji dalších oblastí, které původně s elektronikou nesouvisely.

Takovouto oblastí je právě nositelná (oblékatelná) elektronika. Je to oblast, kde se spojuje textil a elektronika do jednoho kompaktního celku. Z tohoto spojení vyplývají i některé základní požadavky na nositelnou elektroniku, pokud chceme zároveň zachovat i nároky tradičně směřované na oděvní výrobky. Tyto nároky lze posuzovat jak ze strany výrobce, jako snadnou zpracovatelnost, ekonomičnost výroby, módnost, účelovost, tak ze strany spotřebitele, jako módnost, praktičnost, vlastnosti RFT (reprezentativní, fyziologické, trvanlivostní), snadnou údržbu, cenovou dostupnost a další [2]. Když tyto požadavky shrneme do dvou základních skupin, jako je funkčnost a estetičnost oděvu, tak nositelná elektronika doplňuje požadavky na oděv o další rozměr a to "inteligenci".

Právě zachování tradičních vlastností oděvu a charakteru textilního materiálu je jedním z problémů, které nositelnou elektroniku zatím provázejí. Rozdíly mezi vlastnostmi elektroniky a textilu jsou totiž značné a někdy ne zcela porovnatelné, jak je pro ilustraci na některých vlastnostech ukázáno v následující tab. 1.

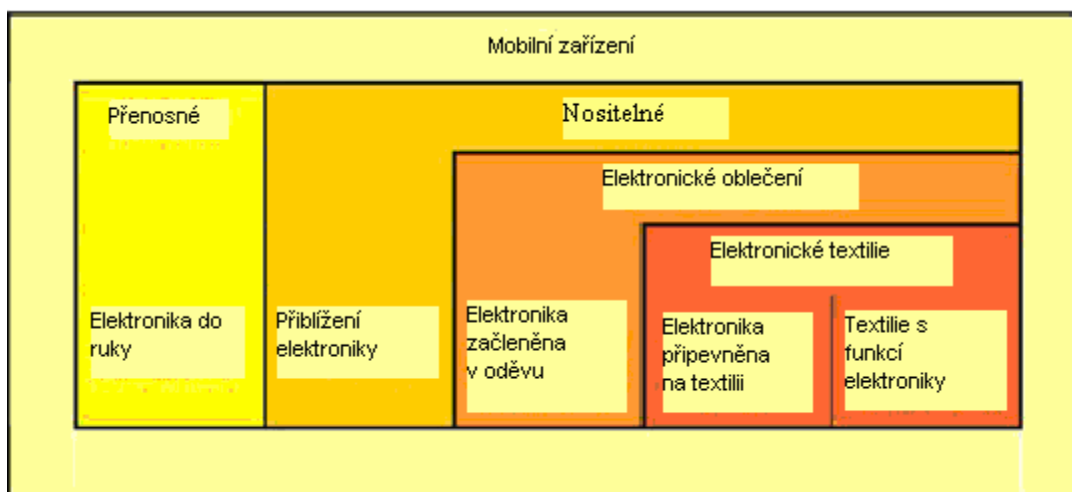
Elektronika	Textilie
Tvrdá	Měkké
Tuhá	Přizpůsobivé
Malé struktury	Robustní
Citlivé na poškození	Pratelné
Přesně vyrobené	Špatně zaručitelná přesnost
Dobře definovatelné vlastnosti	Subjektivní kritéria kvality

Tab. 1 Srovnání vlastností textilu a elektroniky

Vlastnosti jsou uvedeny pouze pro názornost a v jednotlivých případech by musely být porovnávány konkrétní materiály a elektronická zařízení nebo součástky.

Toto srovnání má pouze ukázat, že je nutná co největší integrace elektroniky přímo do textilních struktur.

S rozvojem této integrace bude zároveň aplikací nositelné elektroniky přibývat, protože elektronika v oděvech bude mít stále větší charakter textilního materiálu, jak ho známe dnes, a tím bude dodržen určitý komfort, na který jsme zvyklí a od oděvu ho požadujeme. Postupná integrace elektroniky do oděvu, respektive textilie, je demonstrována na obr. 1. Pro názornost jsou barevně rozlišeny stupně integrace od světlejší žluté barvy po tmavší oranžovou, která představuje nejvyšší stupeň integrace. Dále jsou jednotlivé stupně integrace uvedeny na konkrétních příkladech na obr. 2, 3, 4, 5, 6, 7.



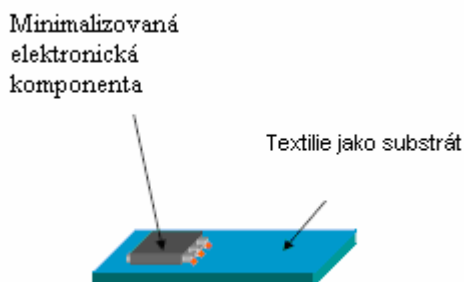
Obr. 1 Znázornění integrace elektroniky do textilu [3]



Obr. 2 Příklad přiblížení elektroniky - Počítač integrovaný do pásu [3]



Obr. 3 Elektronika začleněná v oděvu - Začleněná elektronika je rozpoznatelná na RTG snímku [4]



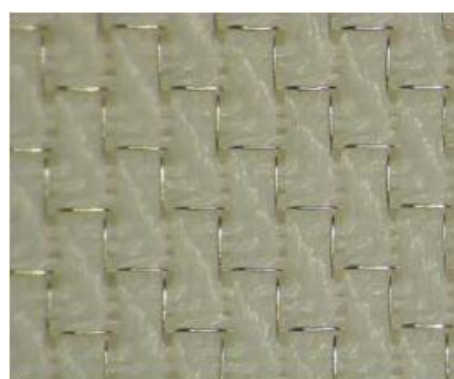
Obr. 4 Ilustrační obrázek elektroniky připevněné na substrát [3]



Obr. 5 Textile s vodivými cestami [3]



Obr. 6 Elektronické součástky připevněné na textili [3]



Obr. 7 Textilie Sefar s vodivými cestami [3]

3.2. Možnosti využití nositelné elektroniky

Příležitosti pro nositelnou elektroniku existují v mnoha oblastech, kde je využit textil. Základní myšlenkou u oděvu s nositelnou elektronikou je, že oděv je neustále v blízkosti našeho těla a proto je naším společníkem téměř po celý den. Během dne používáme mnoho druhů elektronických zařízení jako mobilní telefon, PDA (Personal Digital Assistant), notebook a MP3 přehrávač, které jsou více či méně objemné a nedají se skutečně nosit. Dnešní a potažmo budoucí člověk se však bez těchto zařízení neobejde, proto integrace přímo do oblečení je jasně vyplývajícím řešením, které umožňuje nepřetržité využívání těchto zařízení.

Samozřejmě některé z nich nejsou nutně nezbytné pro náš život, ale oblast zábavní elektroniky (audio, foto, video, nebo hry podporované mobilními telefony) je velice rozšířená a tím komerčně velmi zajímavá, což znamená, že do výzkumu a inovací budou plynout nemalé investice.

Jelikož si spotřební společnost bude tyto inovace žádat, podniky se přizpůsobí novým trendům a budou se snažit předstihnout svou konkurenci. V rámci společenského a technického vývoje lze tedy předpokládat, že nositelná elektronika se bude čím dál více prosazovat v roli jakéhosi nezbytného osobního pomocníka, který nám bude neustále k dispozici.

Z doposud vytvořených aplikací je zřejmé, že velkou oblastí, kde bude možné nositelnou elektroniku využít, je medicína. Tím získává oděv další funkci, kterou představuje možnost celodenního monitorování našeho zdravotního stavu, shromažďování a ukládání získaných informací, případně jejich vyhodnocení.

Náš osobní pomocník se tedy stane i naším osobním lékařem, který může hlídat činnost našeho srdce, dech, teplotu a další tělesné funkce. Při překročení určitých hodnot, které ohrožují náš život nebo zdraví, nás může o aktuálním stavu informovat, abychom měli možnost příslušně zareagovat, případně může sám přivolat pomoc. Tím by se nositelná elektronika stala atraktivní i pro starší generaci, která mnohá z dnešních elektronických zařízení nevyužívá. Nejedná se pouze o příslušníky starší generace, ale i o pacienty s vážnými onemocněními, kteří vyžadují neustálou kontrolu svého stavu. Někteří z nich jsou právě díky nutnosti této neustálé kontroly omezováni v některých každodenních činnostech. Právě pro ně by nositelná elektronika znamenala zkvalitnění jejich života.

Konkrétním příkladem mohou být lidé s onemocněním srdce. Při zvýšených teplotách jim hrozí ischemický záchvat nebo až akutní selhání srdce, což je už samo o sobě velice nebezpečné. V kombinaci se řízením vozidla se však míra ohrožení života ještě zvyšuje.

Kardiaci se závažným postižením srdce snášejí vysoké teploty velice špatně. Jejich srdce nedokáže zvýšit svůj výkon silnějším stahováním své svaloviny. Namísto toho se snaží udržet objem přečerpané krve co nejrychlejší činností – tachykardií. Při tachykardii a poklesu krevního tlaku však klesá průtok krve věnčitými tepnami (zásobujícími myokard) a srdce může začít trpět nedostatečným přívodem kyslíku.

Postupně dochází k vyčerpání jeho energetické rezervy. Zátěž srdce se zhoršuje i prostřednictvím zvýšené aktivity útrobního nervstva a hormonů, které se snaží srdce provokovat ke zvýšení krevního tlaku. Tím se zintenzivňuje jeho činnost a stoupají jeho nároky na kyslík. Pokud je srdce postižené, dokáže zvyšovat výkon jen do určitého limitu, pak může nastat ischemie nebo až akutní srdeční selhání, kdy nemocné srdce

nestačí přečerpávat požadované množství krve a krev stagnuje především v plicích. To se projeví zhoršeným dechem a dušností [5].

Právě v tomto případě by nositelná elektronika mohla fungovat jako ochránce a pomocník nebo dokonce i lékař. Jak je patrné z výše uvedeného textu, srdeční záchvat se projevuje zvýšením srdečního tepu, poklesem tlaku a změnou dechové činnosti. Tyto projevy může inteligentní oděv monitorovat a vyhodnocovat. Při překročení hodnot znamenajícím určité riziko pro nemocného uživatele, ho může upozornit na hrozící nebezpečí. Díky tomu je například možné předejít autonehodě nebo naznačit postiženému nutnost zanechat fyzické činnosti a tím riziko záchvatu snížit.

Při výrazném překročení hodnot by systém mohl zalarmovat záchrannou službu, kterou by bylo možné pomocí GPS, v případě jejího včlenění do obleku, navigovat udáním souřadnic polohy postiženého. Spoluprací s inteligentními aktivními textiliemi by mohl oblek zvýšit svojí prodyšnost, tedy umožnit rychlejší ochlazování těla a tím i stabilizaci podmínek a uklidnění srdce.

Dalším rozšířením, i když zatím spíše výhledovým, by mohlo být podání léku na snížení srdeční aktivity. Podání léku integrovaného jako součást obleku by řídil buď počítač podle zadaného programu vyhodnocujícího údaje ze senzorů, který by podle toho zvolil vhodnou dávku, anebo lékař v monitorovacím středisku, kam by byly naměřené informace z obleku odesílány. Jak je vidět na tomto konkrétním příkladě, využití nositelné elektroniky v oblasti medicíny bude mít velké uplatnění.

Další oblastí, kde by se nositelná elektronika mohla výborně uplatnit, jsou bezpečnostní síly- armáda či policie. Možnosti výzkumu a rozvoje nových technologií jsou zejména v oblasti inteligentních uniforem pro příslušníky armády, kde je kladen velký důraz na ochranu zdraví vojáků a jsou na tuto ochranu a její zvyšování vynakládány nemalé finanční prostředky. Tyto technologie a výrobky pro armádu by se časem mohly rozšířit i do běžných aplikací pro civilisty, jak se již mnohokrát v historii stalo.

Užití nositelné elektroniky se v této oblasti přímo nabízí a to hned z několika důvodů, zároveň však na tato zařízení klade vysoké nároky. Vojáci při bojové akci bývají vystaveni poměrně extrémním podmínkám, které nejsou zcela srovnatelné s užíváním oděvu v běžném životě. Uniforma tudíž vojákovi nesmí překážet v pohybu a to například ani u skoků, plazení a pádů. To znamená, že elektronika musí být umístěna tak, aby při těchto činnostech nevadila a zároveň musí být sama o sobě dostatečně odolná, aby nedocházelo k jejímu poškození.

Samozřejmě kromě elektroniky jsou zde značné nároky i na samotnou textilií, která musí být velmi odolná proti mechanickému namáhání, ale zároveň musí být co nejlehčí, aby nezvyšovala již tak vysokou hmotnost výbavy vojáka. Uvnitř uniformy musí být zachováván určitý teplotní komfort úměrný tomu, že je voják vystaven značné fyzické námaze. Zde je možnost využití aktivních inteligentních textilií pro termoregulaci.

Aktivní inteligentní textilie by mohly být dále využity pro změnu kamufláže v závislosti na okolí. Tento výzkum probíhá v armádním výzkumném a vývojovém středisku Natick nedaleko Bostonu již od konce 80. let, kde se intenzivně zabývají vývojem uniformy, jejíž barva by se přizpůsobovala okolí. Taková uniforma obsahuje senzory citlivé na světlo, které následně upravují odraz světla od látky. Pokud je známo, zkoušely se dvě cesty: chemická a fyzikální. Chemická cesta měla být založena na změně genu hedvábí s cílem vytvořit polosyntetické vlákno měnící barvu. Většího úspěchu však bylo dosaženo s jevem zvaným elektrofosforecence, kterým se vyznačují některé slitiny. Změna barvy je způsobena změnou vlnové délky světla, které látky odrážejí v závislosti na elektrickém náboji. Skutečně již byla vyrobena kombinéza, která má mezi vrstvami průsvitného textilu tekuté barvivo s elektricky nabitými kovovými částicemi. Zatím tento pokus o vytvoření chameleoní uniformy funguje pouze v laboratorních podmínkách [6].

To bylo krátké odbočení od nositelné elektroniky, která však bude mít v uniformě vojáka budoucnosti též nezastupitelnou roli. Vojáci i policisté potřebují mít při své činnosti volné ruce, ale zároveň mezi sebou komunikovat. Do uniformy by tedy mělo být integrované komunikační zařízení typu handsfree. Dalším nezbytným zařízením by mělo být GPS, které by sloužilo nejen vojákům k zaměření a určení vlastní polohy při přesunech, ale zároveň by vysílalo pozici do komunikačního střediska, kde by byla pozice jednotlivých vojáků vyhodnocována a pomocí komunikačního zařízení předávány informace o poloze ostatních bojovníků, protože i při dnešním moderním způsobu vedení bojových operací je vysoké procento ztrát přičítáno takzvané střelbě do vlastních řad.

Další funkcí, kterou by uniforma měla zastávat, by bylo zjišťování informací o zdravotním stavu vojáka (činnost srdce, dýchání, teplota těla) a dalších údajů potřebných k určení komplexního obrazu o jeho zdravotním stavu. Tyto funkce, které je vhodné monitorovat i u skupin s určitými zdravotními obtížemi, jak již bylo uvedeno výše, by byly doplněny o indikaci místa porušení uniformy. Takto by mohl zdravotní

tým získat při případném zranění vojáka poměrně přesnou a komplexní představu o jeho stavu.

Tyto informace by mohly být využity zdravotním nebo záchranným týmem při rozhodování o druhu prostředků vhodných pro záchranu zraněného nebo určení pořadí nutnosti ošetření jednotlivých zraněných. Zároveň by byla zvýšena i ochrana samotného záchranného týmu, který by se mohl vyhnout nutnosti nasazení v situacích, kdy už to postrádá jakýkoliv smysl, tedy pokud by vyhodnocením všech dostupných informací, bylo možné určit, že je zraněný voják již po smrti.

Uniforma by mohla sama nebo na pokyn z řídicího centra aplikovat některý z integrovaných medikamentů, které by měla v zásobě, například morfium tišící bolest. Na stejném principu by mohl být zjišťován vojákův fyzický stav a podávány podpůrné prostředky proti únavě.

Další neopomenutelnou funkcí by kromě zjišťování informací o stavu vojáka, tedy údajů zjišťovaných uvnitř obleku, mělo být i vyhodnocování informací z vnějšku, především detekce a analýza chemických nebo biologických látek obsažených v ovzduší. Přestože je užívání chemických a biologických zbraní zakázané, nelze jejich výskyt při bojové akci nikdy zcela vyloučit. Informace o přítomnosti těchto látek by měly vojákovi dávat možnost zvolit vhodnou a účinnou formu ochrany a současně umožnit velení uskutečnit protiopatření, například stažení vojáků z kontaminovaného území.

Samozřejmě, že i zde se vyskytují určité problémy, které je potřeba řešit. Jedním z nich je napájení. Uniforma, respektive elektronika integrovaná v ní, by měla plnit plno rozličných funkcí. To znamená, že bude potřeba použít mnoho součástek a zařízení, čímž stoupá spotřeba elektrické energie. Je nutné vzít v úvahu, že vojáci jsou na své misi, tedy v terénu, někdy i několik dní bez návratu na základnu, kde by mohli vyměnit nebo dobít baterie. Tuto situaci by mohlo vyřešit užití solárních panelů nebo baterií dobíjených pohybem samotného vojáka.

Dalším problémem by mohlo být elektromagnetického záření vznikající při provozu elektroniky. Toto záření by mohlo být zachycováno protivníkem a používáno k vyhodnocování pozice nepřátelských vojáků. Zároveň by mohla být inteligentní uniforma zničena zásahem silného elektromagnetického pulzu, při němž dochází k nevratnému poškození elektroniky. I přes vyskytující se problémy je, jak je zřejmé z uvedeného nástinu, možnost využití nositelné elektroniky a obecně inteligentních textilií v oblasti armády a bezpečnostních sil velice perspektivní.

Existují i další oblasti, kde by nositelná elektronika mohla být využita. Jedná se například o hasičské kombinézy a ochranné oděvy používané v nebezpečném prostředí, u nichž by mohlo jít o obdobu armádní uniformy zaměřenou na identifikaci faktorů ohrožujících zdraví, jako je například teplota, nebezpečné látky obsažené v prostředí a další ohrožení zachytitelná senzory. Nastavení senzorů nebo typ použitého obleku by byl dán charakterem prostředí, v němž by byl používán.

Další oblastí užití nositelné elektroniky je sport. Kromě dnes již známých sport testerů, které shromažďují fyziologické údaje o sportovci a z nichž lze následně určit například individuální tréninkový plán, je možné užít senzory k zachycování pohybu a díky vyhodnocení zlepšovat jeho koordinaci například při golfu nebo tenisu.

Nesmí se zapomenout ani na to, že mezi nositelnou elektroniku bývají řazeny i aplikace elektroniky do textilu, které však neslouží jako oděv.

Možnost aplikací nositelné elektroniky je uvedena v tab 2. Samozřejmě jednotlivé typy aplikací spolu úzce souvisí a navzájem se prolínají v různých oblastech.

Oblast	Typ Aplikace	Cílová skupina
Armáda	Uniformy pro bojové nasazení	Vojáci na bitevním poli
Veřejná ochrana	Uniformy	Policisté, Požárníci
Riziková povolání	Ochranné obleky	Pyrotechnici Pracovníci v nebezpečném prostředí Řidiči hromadných dopravních prostředků
Speciální	Skafandry	Astronauti, Potápěči
Medicína	Monitorování v oblasti medicíny	Pacienti: Pooperační péče Psychiatrická péče Senioři Geriatrická péče Domácí ošetřovatelství Děti: Prevence SIDS Výzkum: Celodenní nebo dlouhodobé shromažďování dat
Sport	Dresy, obleky	Atleti, Horolezci Obecně sportovci
Univerzální	Zábava, komunikace, multimédia	Všichni

Tab. 2 Ukázka možných aplikací nositelné elektroniky [7]

3.3. Ukázky nositelné elektroniky

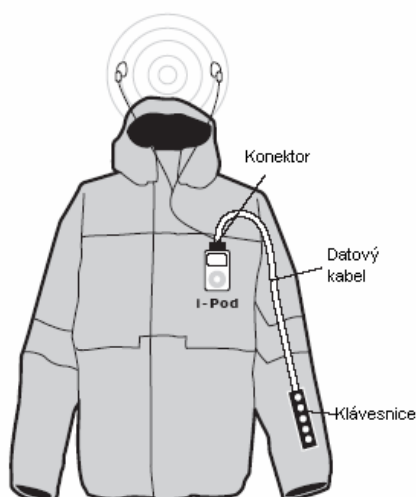
V této části práce, budou ukázány konkrétní příklady již vytvořené nositelné elektroniky.

3.3.1. Textilní klávesnice vyrobené v Softswitch Ltd, MIT a ElekTex

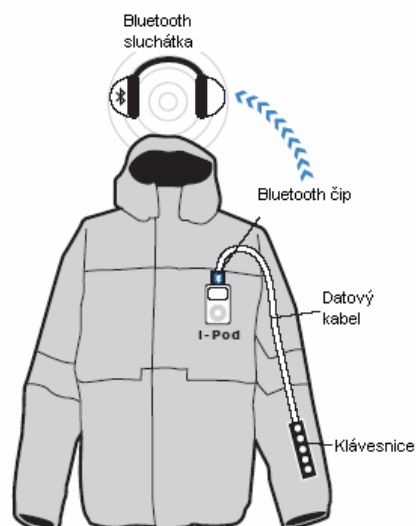
Firma **Softswitch Ltd.** [8] navrhla a vytvořila bundu pro sportovní aktivity, ve které je zabudováno zařízení pro přehrávání hudby iPod (nejrozšířenější druh mp3 přehrávače) a kde ovládání je realizováno klávesnicí (obr. 11), která je do bundy integrována jako součást rukávu, což umožňuje velice pohodlné ovládání tohoto zařízení. Tato aplikace je realizována ve dvou verzích. První verze má klasická sluchátka (obr. 8) a může být modifikována pro mobilní telefon, kde sluchátka jsou nahrazeny mikrofonom a sluchátkem umístěným v oblasti límce (obr. 10) Druhá je realizována s bezdrátovými sluchátky (obr. 9) , kde je informace z iPodu předávána do sluchátek pomocí čipu Bluetooth.

Systém Bluetooth je založen na čipu o nízkém příkonu, který lze bez problémů použít v elektronických přístrojích. Komunikace mezi přístroji je možná, pokud jsou oba přístroje vybaveny čipem Bluetooth s kompatibilním programovým vybavením (podporují shodné profily). Všechny přístroje s aktivovaným čipem “poslouchají” v krátkých intervalech menších než 1 s v prostoru 10 m, aby zachytily signály jiných přístrojů. Jakmile signál zachytí, uskuteční automaticky bezdrátové spojení, přičemž se čipy identifikují nezaměnitelnými čísly výrobní série. Bluetooth užívá volně dostupné (bezlicenční) kmitočty ISM v pásmu 2,4 GHz, ve kterém vysílají bezdrátové telefony systému DECT a přístroje sítí WLAN podle standardu IEEE 802.11b/g. Aby se zabránilo interferencím mezi přístroji vysílajícími na stejných kmitočtech pracuje Bluetooth metodou přepínání frekvencí (FH) a vysílač mění svou frekvenci 1 600 krát za sekundu. Tím se může velmi dobře vyhnout jiným službám, čímž se podstatně zvyšuje spolehlivost spojení. Jednotlivé současně vysílající přístroje s kanály A až D obsazují cyklicky různé kmitočtové kanály po dobu 0,625 ms [9].

Bluetooth čip může být umístěn i jako výstup z klávesnice, kdy je potom uskutečňován i přenos mezi klávesnicí a iPodem bezdrátově a odpadá nutnost použití datového kabelu, což zvyšuje pohodlí při nošení a usnadňuje údržbu oděvu.



Obr. 8 Bunda s integrovanou klávesnicí a sluchátky připojenými k iPodu kabelem [8]



Obr. 9 Verze bundy s Bluetooth čipem [8]



Obr. 10 Modifikace s mobilním telefonem [8]



Obr. 11 Klávesnice integrovaná v rukávu [10]

Integrovaná klávesnice je vytvořena pomocí takzvaného QTC (Quantum Tunneling Composites) materiálu. Tento materiál je kompozit vytvořený z elastomeru a kovových částic. Materiál je nazván podle jevu kvantového tunelování. To znamená, že když materiál není stlačen jsou vodivé částice od sebe příliš vzdáleny, aby mohlo docházet k průchodu elektrického proudu a látka se chová jako izolant. Když je látka stlačena dochází k přiblížení kovových částic, tím se snižuje odpor a látka se stává vodivou. Závislost odporu na stlačení je exponenciální. Rozdíl odporu mezi stavem, ve

kterém je materiál stlačen a nestlačen je řádově $10^{12} \Omega$. Tento materiál byl vyvinut firmou PeraTech Ltd. v roce 1996 [11], [12].

Dalším příkladem by mohl být projekt **MIT Media Laboratory**, kdy samotný projekt (Musical Jacket Project) z hlediska praktičnosti a komerční využitelnosti není nejlepším ukázkou praktického využití nositelné elektroniky, ale je zde vytvořena také textilní klávesnice a to na jiném principu. Do džínové bundy Levis byl zabudován systém podobný elektronickému pianu (obr. 12), které se ovládá přes vyšitou textilní klávesnici (obr. 13). Klávesnice je vyšita z kevlarových a ocelových nití. Jednotlivé vyšité dotykové body v tomto případě čísla jsou elektrody, kde při stisknutí prstem dochází ke zvýšení kapacitní reaktance a tím určení místa stisku [13].



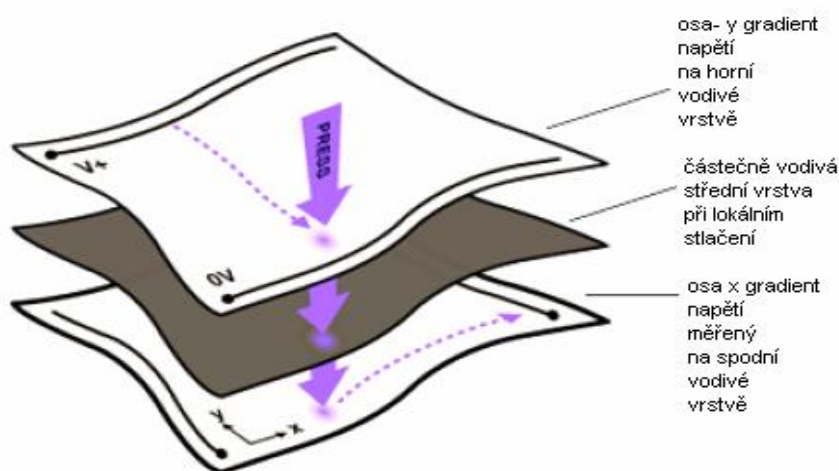
Obr. 12 Musical Jacket Project [14]



Obr. 13 MIT klávesnice [13]

Textilní klávesnice firmy **ElekTex** je založena na principu vícevrstvé textilie. Je použito 5 vrstev pro vytvoření snímače polohy v závislosti na stlačení. Látka využívá dvou vysoce vodivých vrstev vysoce vodivé textilní síť tvořené plátňovou vazbou s velmi nízkou dostavou oddělené nevodivou polyamidovou síťkou. Jedna vrstva má vodivá vlákna v osnově a druhá v útku [15].

Při stlačení na správném místě dojde k propojení útkové a osnovní vodivé sítě přes volný prostor v polyamidové síti a podle toku elektronů je umožněna identifikace místa stlačení. Látka ještě zahrnuje dvě vnější nevodivé vrstvy, takže je celkově pětivrstvá. Princip měření je ukázán na obr. 14. Tato klávesnice našla uplatnění kromě integrace do oděvu stejně jako na obr. 11 také jako příslušenství k PDA přístrojům (obr. 14), přičemž je používána jako běžná klávesnice k počítači, ale je využita její schopnost, že je ohebná. Proto se dá srolovat a velmi skladně uložit. Například bezdrátová klávesnice 5250- G-Tech má při zabalení rozměry (126x48x32 mm). V některých provedeních je vyráběna i jako obal PDA, kdy po použití se do ní PDA v podstatě zabalí.



Obr. 13 Princip určení místa stlačení [15]



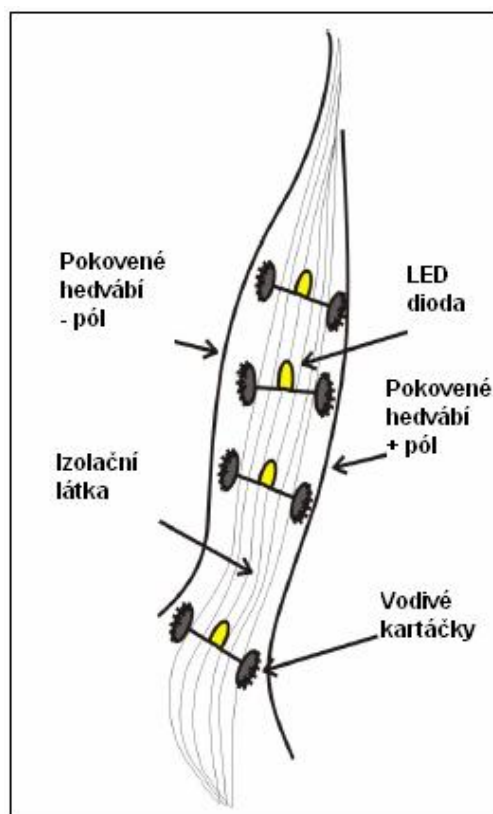
Obr. 14 PDA s textilní klávesnicí [16]

3.3.2 Světélkující šaty FireFly

Na podobném principu jako fungují textilní klávesnice fungují i světélkující šaty FireFly Dress (Světluška) vytvořené v MIT Media Laboratory (obr. 15). Šaty světélkují při pohybu oblečeného, přičemž je jako senzor snímající pohyb, vodič pro přenos elektrického signálu, zobrazovací medium a samotný nosný materiál šatů je užito, látky která má v jednom směru zatkáno pokovené hedvábí. Sukně je složena ze dvou vrstev vodivé látky, které vytváří plus a minus póly při připojení baterie. Mezi tyto dvě vrstvy je vložena další izolační vrstva, kterou jsou odděleny. Na této izolační vrstvě jsou navěšeny světlo emitující LED diody, jejich konce jsou opatřeny vějířovitými vodivými kartáčky (obr. 16). Při pohybu oblečené osoby dochází k pohybu všech těchto vrstev, díky tomu k náhodnému kontaktu kartáčků s vodivými póly plus a minus. Tím je uzavřen elektrický obvod a dioda svítí. [17]



Obr. 15 Šaty FireFly [17]



Obr. 16 Princip "světélkování" LED diod [17]

3.3.3. Inteligentní oděv (GTWM)

Tento projekt byl zadán armádou USA v roce 1996. Cílem bylo vytvořit oděv, který by monitoroval zdravotní stav vojáka. Projekt inteligentního oděvu řešený na Georgia Institute of Technology bývá označován jako nositelná základní deska GTWM (Georgia Tech Wearable Motherboard). Zadání bylo definováno, že musí jít o lehký prodyšný materiál, splňující požadavky komfortu při nošení a používání, včetně údržby (čištění). Proto byly vybrány vhodné materiály, které by splnění těchto požadavků umožňovaly [1]:

- polypropylénové vlákno (s ohledem na měrnou hmotnost)
- polymerní optické vlákno pro detekci hloubky proniknutí střely nebo úlomku
- polyetylénem potažené měděné vlákno a polyamidová vlákna s anorganickými částicemi pro elektricky vodivé spojení
- polyuretanový elastomer (Spanex) pro zajištění mechanického komfortu a přiléhavosti
- Nega-stat pro zajištění rozptýlení elektrostatického náboje.

Třetí generace GTWM nositelného motherboardu je ukázána na obr. 17. Tento konstrukční typ (nátělník) byl utkáno jako jednodílný oděv. Právě vhodně zvolená tkaná struktura umožnila vznik tílka jako jediného kusu nepřerušené látky, kde nebylo potřeba stříhání a šití, to znamená, že oděv je beze švů.

Do oděvu bylo integrováno polymerní optické vlákno. Optické vlákno se spirálovitě vkládá do struktury textilie bez nutnosti přerušení pro otvor na ruku nebo švu v průběhu tkaní právě díky této inovaci, kdy oděv je formován přímo na tkacím stroji. Optické vlákno slouží k detekci zranění kulkou nebo střepinou. Do optického vlákna je vyslán světelný signál a je vyhodnocována doba odezvy, ze které se dá jasně určit, kde je vlákno případně porušeno.

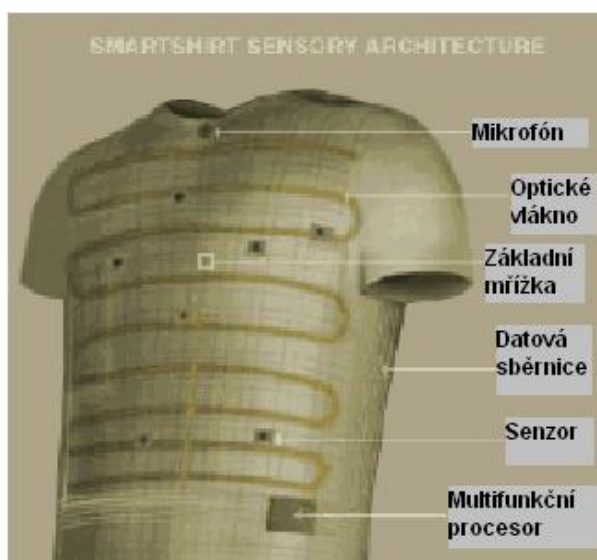
Tílko obsahuje senzory na měření tělesné teploty, EKG, rychlosti dechu a mikrofon. Tyto senzory jsou pomocí T-konektorů připojeny na vodivá vlákna integrovaná do nátělníku a tím je vytvořena jakási pružná sběrnice. Na druhém konci této sběrnice jsou informace z jednotlivých senzorů sváděny do přenosového zařízení,

které zajišťuje jejich odeslání. Architektura rozmístění senzorů a optického vlákna je vyobrazena na obr. 18.

Nátělník byl vyroben na armádní zakázku, ale může být podle typu použitých senzorů a k nim vhodného vyhodnocovacího zařízení přizpůsoben například pro uniformy požárníků integrováním čidla citlivého na hladinu úrovně kyslíku nebo na nebezpečné plyny [18]



Obr. 17 GTWM nátělník [18]



Obr. 18 Architektura rozmístění komponent u GTWM [3]

4. Textilní čidla a snímače

Do této skupiny patří textilní struktury, které jsou schopné indikovat změnu stavu, respektive podmínek okolí. Mohou být využity jak v oděvních, tak v technických textiliích a kompozitech nebo speciálních zařízeních pro monitorování a indikaci různých veličin.

Textilní snímače mohou mít různou strukturu, ať se jedná o plošné textilie nebo vláknová čidla. Hlavním představitelem vláknových čidel jsou optická vlákna, která mohou indikovat řadu změn externích polí. Mají širokou oblast použití od přenosu optického signálu, přes přenos informace o změnách teploty, mechanických, magnetických a dalších polí nebo informace o přítomnosti chemických látek. Plošné textilie mohou snímat například polohu stlačení, jak bylo uvedeno v kap. 3.3. (Ukázky nositelné elektroniky), nebo řadu dalších charakteristik [1].

Dále budou uvedeny konkrétní příklady textilních senzorů, které slouží k monitorování tělesných funkcí a mohou být součástí oděvu. Budou popsány textilní senzory pro měření EKG, rychlosti (frekvence) dechu a měření teploty podél povrchu měřeného objektu (lidského těla).

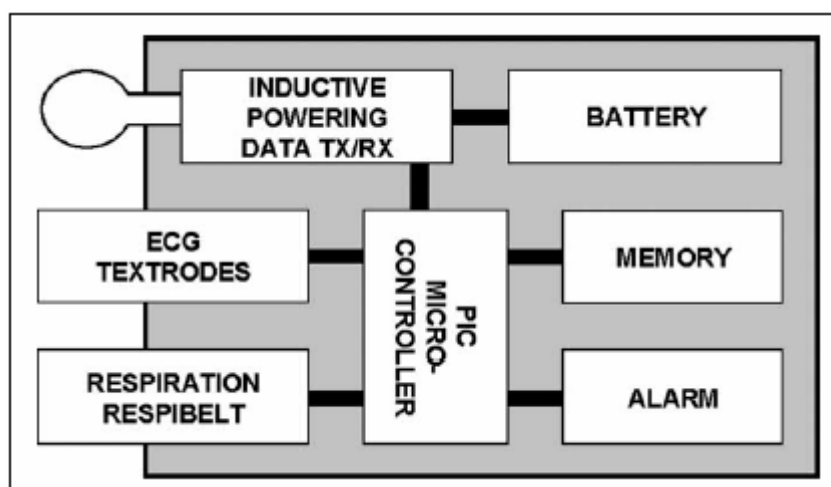
Základní projevy lidského těla, které se dají měřit, jsou uvedeny níže. Ne všechny senzory nebo přístroje pro jejich měření se však dají snadno integrovat do textilního materiálu:

- Teplota
- Biotické potenciály : elektrokardiogram, myografie (záznam svalových kontrakcí)
- Akustické biosignály : srdce, plíce, trávicí soustava, klouby
- Ultrazvuk : krevní oběh
- Pohyb : dýchání
- Vlhkost : pot
- Tlak : krevní tlak

4.1. Měření EKG a frekvence dýchání pomocí textilních senzorů

Měření EKG a frekvence dýchání pomocí textilních senzorů je vhodné pro dlouhodobé sledování pacientů v nemocnicích. Příkladem mohou být děti, pacienti pooperačního oddělení, ale i vojáci v terénu při doplnění obvodu o bezdrátovou komunikaci. Textilní materiál může zastávat funkci senzoru, propojení s elektronikou nebo z něj může být vytvořena i anténa pro odesílání informací. Právě možnost integrace do oblečení značně zvyšuje pohodlí a pohyblivost sledované osoby.

Schéma nositelné sledovací jednotky je na obr.19. Jsou snímány dva fyziologické parametry EKG a rychlost dýchání. Získaná data jsou vyhodnocována pomocí mikroprocesoru a mohou být sériově ukládána do paměti EEPROM. Při překročení limitních hodnot (ohrožení zdraví) aktivuje obvod alarm, který by měl přivolat lékařský personál. Obvod má konektor, pomocí kterého mohou být data přehrána do počítače a zároveň může sloužit pro dobíjení baterie [19].



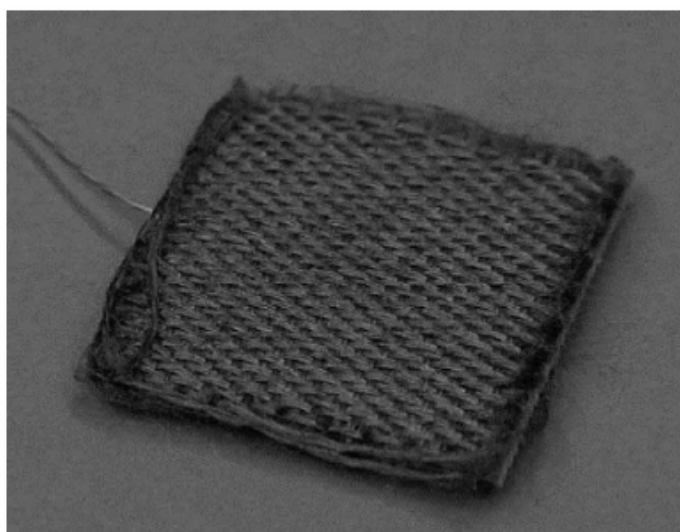
Obr. 19 Schématické znázornění vyhodnocovacího obvodu [19]

4.1.1. Měření EKG [19]

Elektrokardiogram (zkráceně EKG) je záznam časové změny elektrického potenciálu způsobené srdeční aktivitou. EKG je standardní neinvazivní metodou funkčního vyšetření elektrické aktivity myokardu. Signál se šíří z myokardu poměrně snadno všemi směry do celého těla, aniž by byl výrazněji zeslabován. EKG signál proto

můžeme zaznamenat v poměrně velké amplitudě (jednotky až desítky mV) prakticky na libovolném místě tělesného povrchu [20].

Konvenční elektrody pro měření EKG jsou na pacientovo tělo přilepeny pomocí elektricky vodivého gelu. Kontakt gelu s kůží často způsobuje dráždění kůže nebo alergickou reakci (dermatitis- zánět kůže). Při dlouhodobém měření může být navíc na obtíž i přívodní kabel, kterým je elektroda připojena k elektronickému přístroji. Tyto problémy mohou být odstraněny pomocí textilní elektrody pro měření EKG, tzv. Textrody (obr. 20).



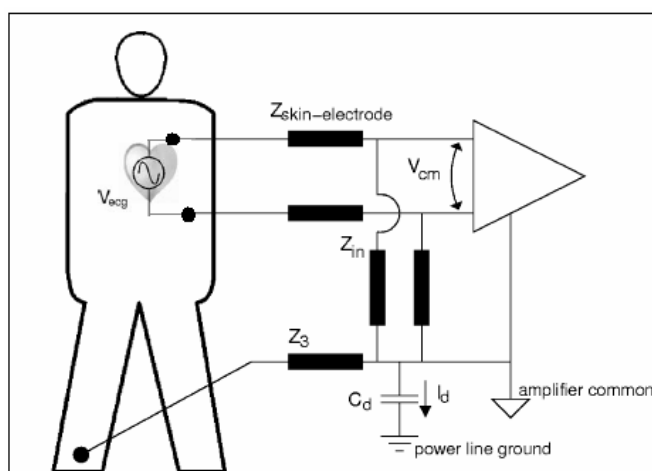
Obr. 20 Pletená Textroda 3×3 cm [19]

Textroda může být tkaná nebo pletená z příze z nerezové oceli. Její výhodnou je nedráždivý charakter (narozdíl od gelové elektrody) a možnost integrace do oděvu. Naopak hlavní nevýhodou je vysoká impedance na rozhraní suchá kůže-elektroda $1\text{--}5\text{ M}\Omega/\text{cm}^2$ v porovnání s typickou komerčně dostupnou gelovou elektrodou $10\text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ ve frekvenčním pásmu 5-100 Hz. Na rozhraní kůže-elektroda se uplatňuje především vysoká impedance kůže, vůči které je impedance elektrody zanedbatelná. Při užití klasické elektrody se právě nanesením gelu snižuje do značné míry impedance kůže a na rozhraní je tedy impedance výrazně nižší.

Vyšší impedance kůže-elektroda má za následek snížení odstupu signál-šum (SNR). Hlavní zdroje šumu při měření EKG vznikají pohybem elektrody po kůži a součtovým (soufázovým) signálem. Šumový signál vzniklý pohybem elektrody po kůži je daný změnou impedance rozhraní kůže-elektroda a změnou napěťového offsetu.

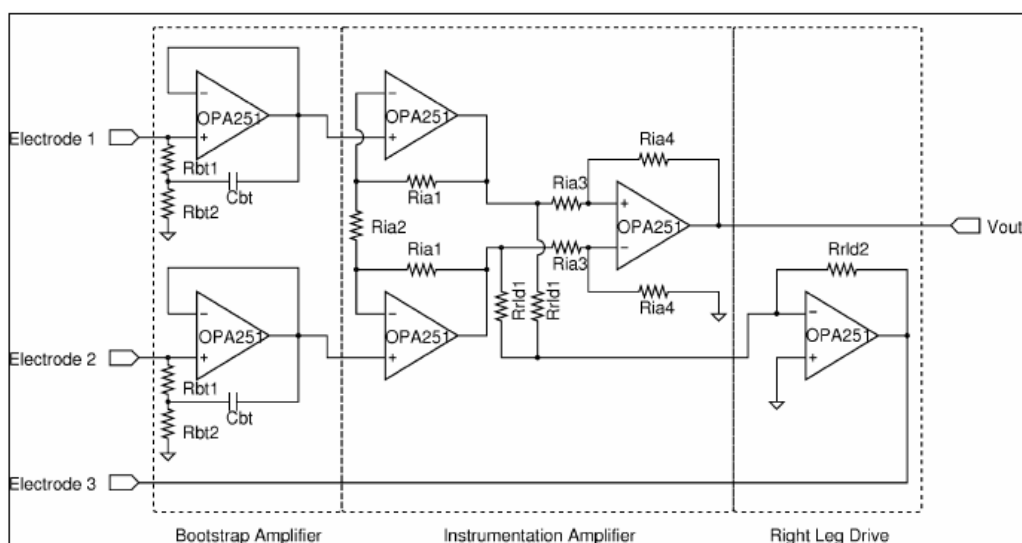
Kvůli potlačení vlivu součtového signálu (CMRR) se používá zapojení se třemi elektrodami. CMMR je vyjádření míry nežádoucích přenosů na výstup při buzení vstupů diferenčního zesilovače souhlasným signálem [21].

Měřený signál odpovídá rozdílu potenciálů mezi dvěma elektrodami zesílený diferenčním zesilovačem (obr. 21)



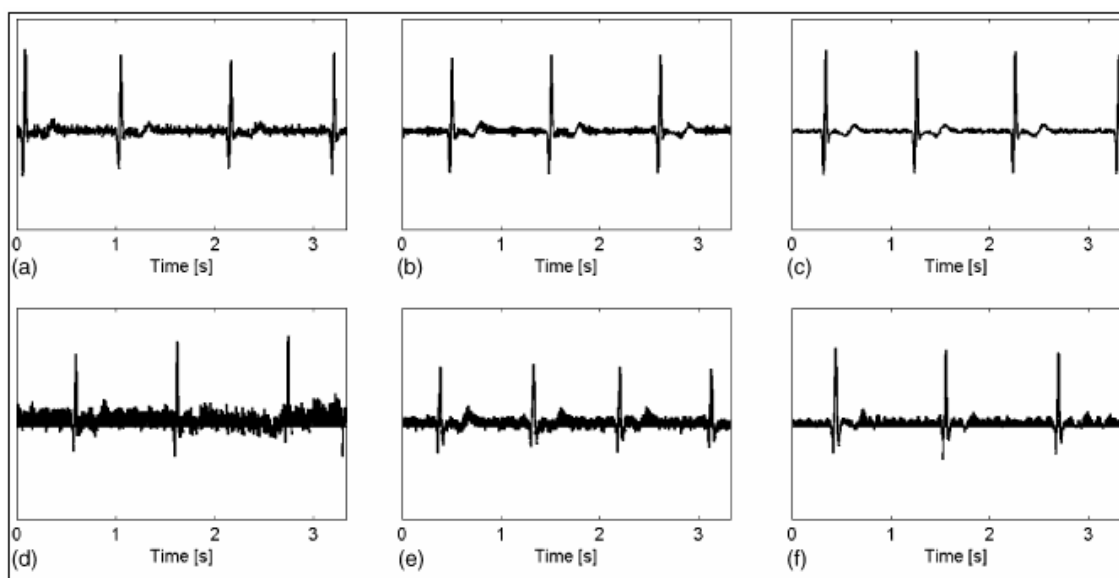
Obr. 21 Připojení elektrod na lidské tělo [19]

Problém šumu (vysoká impedancí rozhraní kůže-elektroda) lze řešit pomocí vstupního zesilovače (obr. 22). Ten se skládá ze vstupního zapojení (bootstrap), jímž je dána vysoká vstupní impedance obvodu, rozdílového zesilovače, který ze vstupů elektrod vytvoří jeden výstupní signál s vysokým potlačením součtového signálu a třetí referenční elektrody (right leg drive) k potlačení šumu a vlivu součtového signálu.



Obr. 22 Zapojení vstupního zesilovače pro měření EKG [19]

Na obr. 23 jsou ukázky měření EKG pomocí konvenční gelové a elektrody a Textrody.



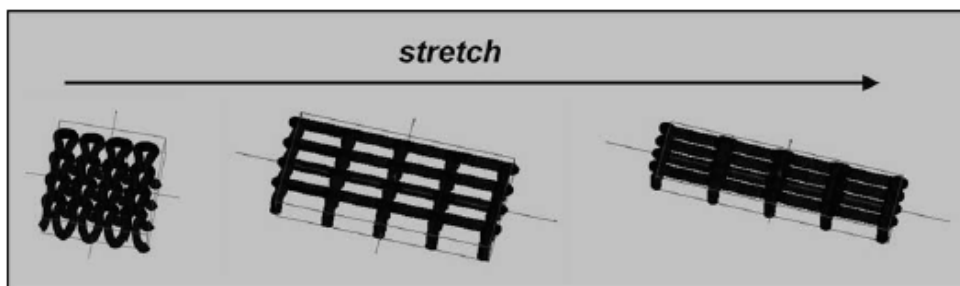
Obr. 23 Měření EKG [19]

Záznam elektrokardiogramu (a) až (c) je pořízen při použití gelové elektrody, (d) až (f) při použití Textrody. Průběhy (a), (d) ukazují měření bez použití bootstrapu a referenční elektrody, průběhy (b), (e) jsou bez užití referenční elektrody a (c), (f) je kompletní zapojení podle obrázku 22. Šum lze tedy do značné míry kompenzovat zapojením. Toto potlačení se ovšem týká eliminace vlivu souhlasného signálu. Šum způsobený pohybem elektrody po kůži je však u Textrody převládající a jde odstranit pouze vhodným filtrováním signálu, při kterém však dochází k částečné ztrátě informace z EKG. Elektrokardiogramy na obr. 23 jsou již filtrovány pomocí propusti RC (0,5-200 Hz).

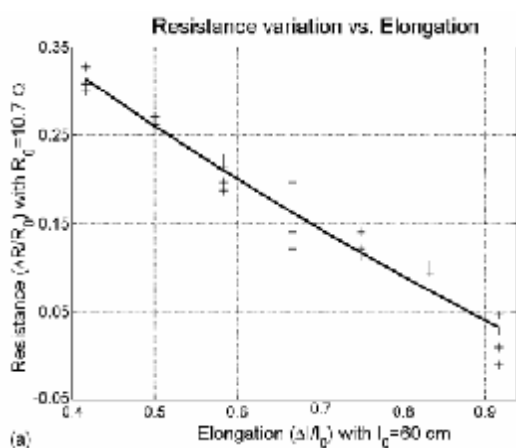
4.1.2 Měření frekvence dýchání [19]

K měření frekvence dýchání byl vytvořen textilní senzor Respibelt. Ten je založen na deformaci pletené struktury při jejím protažení (obr. 24). Senzor je tvořen pletenou strukturou z přízí z antikoroční oceli a materiálu Lycra. Lycra je vysoce pružné polyuretanové vlákno řazené mezi elastomery. Vlákno může být protaženo na několiknásobek své délky a povolením napětí se opět vrátí zpět do svého původního tvaru [22].

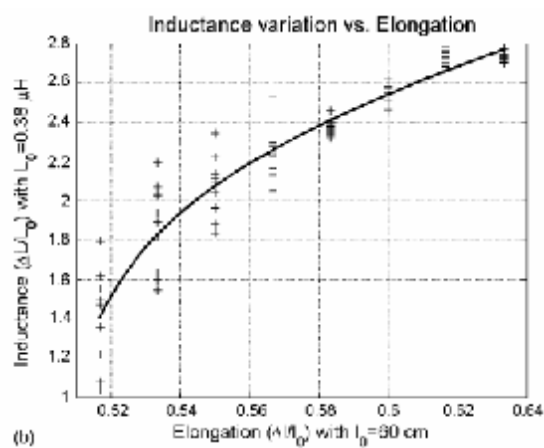
Senzor tvoří pás, který je navlečen na hrudník nebo oblast břicha. Při dýchání dochází k protažení pásu. Protažení pásu, tedy prodloužení materiálu, je funkcí elektrického odporu a indukčnosti příze z elektricky vodivého materiálu (obr. 25, 26)



Obr. 24 Změna pletené struktury při protažení [19]



Obr. 25 Závislost odporu
na prodloužení [19]



Obr. 26 Závislost indukčnosti
na prodloužení [19]

Respibelt je tedy vlastně cívka, u které dochází vlivem prodloužení vodiče ke změně odporu a indukčnosti.

Odpor v závislosti na prodloužení klesá, to je dáno pletenou strukturou. Při protažení Respibeltu dochází ke zhutnění struktury, zvýší se četnost kontaktů mezi jednotlivými vodiči v přízi i mezi přízemi, tím vzroste vodivost Respibeltu a klesne odpor.

Změna indukčnosti v závislosti na protažení Respibeltu je přibližně $0,05 \mu\text{H}/\text{cm}$. Vlivem protahování senzoru dochází ke změně průměru navlečeného pásu (závitu) a průřezu vodiče cívky a tím ke změně indukčnosti.

Vyhodnocovací obvod spojuje oba principy měření na jeden výstup. Respibelt je užít jako část oscilátoru, u kterého je rezonanční frekvence závislá na odporu i na

indukčnosti. Měříme tedy frekvenci oscilátoru, která po odfiltrování šumu (vzniklý nechtěným pohybem senzoru) může být převedena na napětí nebo digitalizovaná pro další zpracování.

4.2. Měření teploty pomocí textilního senzoru

Teplota je měřena pomocí tkaniny (hybridní látka) se zatkanými měděnými vodiči. Tkaná struktura hybridní látky sama o sobě reprezentuje pole teplotních snímačů, které lze použít pro měření teploty po celém profilu povrchu. Hybridní látka je schopná nejen snímat teplotu, ale také přenášet signál.

4.2.1. Fyzikální princip měření teploty

Fyzikálním principem je teplotní závislost elektrického odporu kovu podle vztahu (1)

$$R_{\text{vodič}} = r_{\text{kovu}} (1 + a_{\text{kovu}} * \Delta T) * \frac{l_{\text{vodič}}}{S_{\text{vodič}}} [\Omega] \quad (1)$$

$r_{\text{kovu}} [W*m]$ - měrný odpor

$a_{\text{kovu}} [1/K]$ - teplotní součinitel odporu

$S_{\text{vodič}} [m^2]$ - plocha příčného řezu

$l_{\text{vodič}} [m]$ - délka kovového vodiče

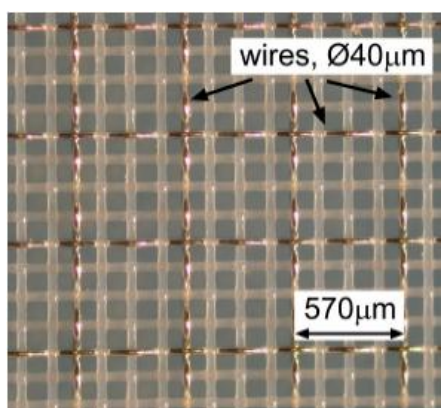
$\Delta T [K]$ - rozdíl teplot

Změna délky prodloužení, stejně jako kvadratický koeficient odporu způsobující variaci teploty jsou zanedbatelné pro zamýšlené měření v rozsahu 10°C-60°C. Je využit tenký měděný vodič s odporem 14,16Ω/m při teplotě 20°C.

4.2.2. Hybridní textilní snímač

Hybridní látka je vyráběna firmou SEFAR INC. Tkanina se skládá z polyesterové příze (PET) s průměrem 42 μm a slitiny mědi s průměrem 50±8 μm.

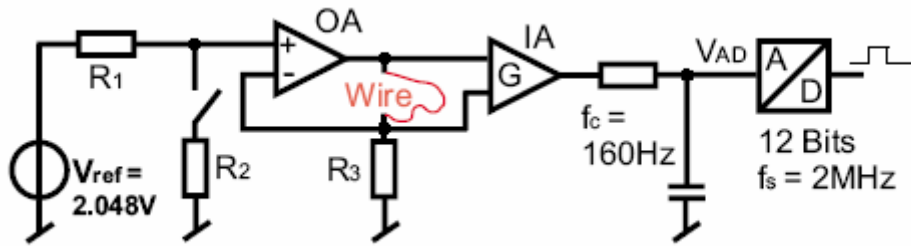
Hybridní látka se zaplněním 44% je na obr. 50. Každý měděný vodič je natřen polyuretanovým lakem jako elektrickou izolací. Vodičová měděná síť je charakterizována rozestupy 0.57 mm (dostava osnovy v tkanině je 17.5 cm^{-1}). Kombinace PET příze a měděných vodičů (3 PET příze a 1 měděný vodič) vyžaduje speciální tkací techniku, která obsahuje ve směru osnovy i útku dva oddělené napínací systémy. Hybridní látka má plošnou hustotou 74 g/m^2 . V důsledku mále jemnosti vodiče ($123\text{dtex} = 12.3\mu\text{g/m}$) a vysoké tepelné vodivosti mědi je snímač schopen reagovat velmi rychle na teplotní změny. Látka reprezentuje kompromis mezi zachováním textilních vlastností a hustotou měděných vodičů.



Obr. 27 Látka s vloženým měděným vodičem
coby teplotní snímač (SEFAR INC.) [23]

4.2.3. Měřicí princip

Princip měřícího obvodu je uveden na obr. 28. Stálý proud prochází měděným vodičem a způsobuje úbytek napětí, který je závislý na teplotě podle vzorce (2). Odpor $R_{\text{vodič0}}$ je definován jako odpor při určité referenční hodnotě teploty, např. 20°C . Stálý proud je ve vodičích zajišťován operačním zesilovačem (OA), pomocný zesilovač (IA) zesílí měřený signál, takže je v tomto konkrétním případě dosaženo rozlišení $0,4 \text{ K/LSB}$ (nejnižší platný bit). Dolní propust snižuje šum a zabraňuje chybě vzorkováním omezením pásma singlu na $f_c = 160 \text{ Hz}$. Volba šířky pásma je kompromisem mezi omezením šumu a měřicí rychlostí. Je použit 12 bitový AD (analogově-digitální) převodník, který přenáší LSB jako $0,5 \text{ mV}$ při použití referenčního napětí $2,048 \text{ V}$.



Obr. 28. Princip měření teploty [23]

$$\Delta T = \left(\frac{R_{\text{vodič}}}{R_{\text{vodič}0}} - 1 \right) * \frac{1}{a_{cu}} [K] \quad (2)$$

Připojením a odpojením odporu R_2 vzniknou v obvodu dva rozdílné proudy, které procházejí přes měděný vodič a kterým odpovídají dvě napětí pro AD převodník U_{ADh} a U_{ADl} . Tímto postupem připojování odporu R_2 se zvyšuje přesnost měření.

Výpočet teploty potom vychází je podle vzorce (3), který vychází ze vzorce (2) a odpor vodiče reprezentují měřená napětí. Napětí ve vzorci (3) může být přímo vyjádřeno hodnotou $bits_x$ odpovídající binární hodnotě, která vzniká na AD převodníku, jak je vyjádřeno vzorcem (4)

$$T = \left(\frac{U_{ADh} - U_{ADl}}{U_{ADrefh} - U_{ADrefl}} - 1 \right) * \frac{1}{a_{Cu}} + T_0 [^{\circ}C] \quad (3)$$

$$T = \left(\frac{bits_h - bits_l}{bits_{refh} - bits_{refl}} - 1 \right) * \frac{1}{a_{Cu}} + T_0 [^{\circ}C] \quad (4)$$

4.2.4. Teoretická teplotní přesnost

Konečná měřicí tolerance závisí na mnoha rozdílných faktorech. Na jedné straně se přesnost zlepšuje, když je drát v tkanině delší. Delší drát přímo odpovídá vyššímu odporu. Na druhé straně je zjištěná informace o teplotě změněna díky úbytkům způsobeným delším vodičem. Teplotní změna může být například šířena podél celého vodiče stejně jen v místě jednoho bodu. Toto chování zavádí určitou nejistotu principu.

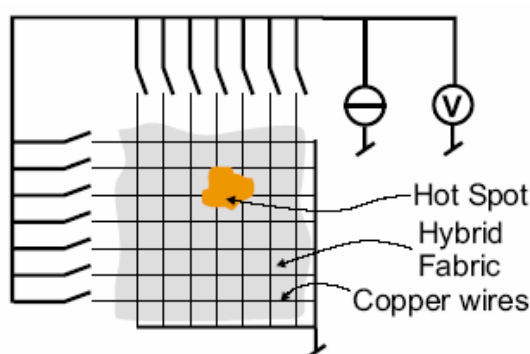
Další nepřesnosti při měření jsou způsobeny rušením v šířce pásma 160Hz a také tím, že všechny elektronické prvky jsou tepelně závislé. Napětí U_{AD} , které AD převodník převádí na binární hodnotu (vzorec 5), je kromě funkce teploty $f(T_{vodič})$ složeno z dalších parazitních napětí (U_{ofs} , U_{noise} , U_{drift} , U_{tol}). U_{ofs} , které se snažíme kompenzovat připojováním odporu R_2 . Napětí U_{noise} - teplotní šum, který může být statisticky zmenšován několikanásobnými měřeními s N opakováním. Napětí U_{drift} popisuje teplotní závislost obvodu, kterou způsobují hlavně zdroj referenčního napětí a oba zesilovače. Zde lze zvýšit přesnost použitím kvalitních součástek s kompenzací teplotní závislosti. A napětí U_{tol} , které udává chybu způsobenou AD převodníkem.

$$U_{AD} = f(T_{vodič}) + U_{ofs} + U_{noise} + U_{drift} + U_{tol} [V] \quad (5)$$

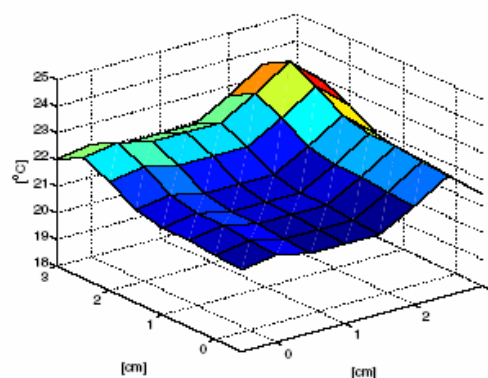
4.2.5. Teplotní povrchový profil

Síť měděných vodičů v hybridní látce dovoluje měření teploty podél povrchu. Schématický princip je znázorněn na obr. 29. Pomocí vodičové topologie je získávána informace o teplotě v určitém místě (tzv. Hot Spot) pomocí měření odporu drátků ve směru X a Y. Je zde však problém, že měřením získáváme průměrnou hodnotu podél celé délky měděného vodiče.

Odhad teplotních rozdělení jednotlivých "Hot Spotů" je uveden na obr. 30, kde je vidět rozdělení teplot při dotyku prstem v zadním rohu látky. Odhadované rozložení teplot je vypočítáno z teplot rozložených podél vodiče podle vzorce (6)



Obr. 29. Schéma měřicího pole [23]



Obr. 30. Rozdělení teplot podél látky [23]

$$T_{odhadovaná} = \sqrt{T_{řádku} * T_{sloupce}} [^{\circ}C] \quad (6)$$

4.2.6. Možnosti využití měření podél povrchu

Tento látkový teplotní snímač může být hladce integrován do oblečení, což poskytuje základ pro měření teplotního profilu podél lidského těla např. pro sledování teploty, které jsou požárníci vystaveni během své mise. Další aplikace by mohly být na lékařském poli. Například využití hybridního látkového snímače na měření teploty při příjmu potravy v blízkosti jater. Senzory nemusí být nutně součástí oblečení, ale mohou být například integrovány do autosedačky.

Snímač má přesnost okolo 1 K. Ta však může být při kompenzaci nelinearity zápisem teplotní křivky v celém rozsahu zlepšena na 0,5 K. Dalšího vylepšení přesnosti se dá dosáhnout užitím elektroniky s teplotní kompenzací a bezšumových komponent.

5. Integrace elektroniky do textilu

5.1. Textilie s elektronickou funkcí

Nositelná elektronika a elektronické inteligentní textile jsou limitovány závislostí na elektrickém proudu. Senzory integrované do textile potřebují předávat signály do vyhodnocovacích obvodů, jednotlivá zařízení komunikovat s ovládáním. Klasické vodivé spojení užívané v běžné elektronice pomocí kabeláže, však není pro textilní aplikace příliš vhodné, protože omezuje funkčnost oděvu.

Jako příklad může být uvedena bunda, která vznikla ve spolupráci Levi Strauss a Philips Research Laboratories s integrovaným komunikačním systémem. Uvnitř bundy bylo skryto elektrické vedení, které propojovalo mobilní telefon, MP3 přehrávač, vestavěný mikrofon, reproduktor a display. Tato elektronická zařízení se před praním dala z bundy odpojit a vyjmout, avšak elektrické vedení a konektory ne. To značně omezuje údržbu [10].

Proto je snaha o vytvoření možnosti elektrického spojení nejen celých zařízení, ale i jednotlivých součástek pomocí materiálů, které se dají integrovat na nebo přímo do textilního substrátu. To znamená, že tyto materiály musí být elektricky vodivé.

Elektrická vodivost G (konduktivita) - je fyzikální veličina, která udává velikost elektrického proudu procházejícího vodičem při jednotkovém napětí na koncích vodiče.

Elektrická vodivost tedy popisuje schopnost vést dobře elektrický proud. Čím je vodivost vyšší, tím silnější elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí [24].

$$G = \frac{U}{I} [\text{Siemens}] \quad (7)$$

$U [V]$... Elektrické napětí

$I [A]$... Elektrický proud

Z vodivosti jde dále vypočíst měrnou elektrickou vodivost σ .

$$\sigma = G \times \frac{l}{S} [S \times m^{-1}] \quad (8)$$

$l [m]$... Délka vodiče

$S [m^2]$... Plocha příčného řezu vodiče

Reciprokou hodnotou měrné vodivosti je měrný elektrický odpor ρ . Tato fyzikální veličina vyjadřuje elektrický odpor vodiče jednotkové délky $l [1 \text{ m}]$ a jednotkového průřezu $S [1 \text{ m}^2]$. Je to látková konstanta, která charakterizuje vodivost materiálu [25].

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \times \frac{S}{l} [\Omega \times m] \quad (9)$$

$R [W]$... Elektrický odpor vodiče

Hodnoty ρ pro vodivé materiály se pohybují mezi 10^{-8} a $10^{-2} \Omega$, nevodivé materiály mají hodnoty 100 a $10^{16} \Omega$.

Pro výrobu vodivých textilií z hlediska zpracování jsou vhodné materiály, které se dají zpracovávat tradičními textilními technologiemi, jsou to tedy polymery (tab. 3). Je známo více než 100 polymerů s různým rozsahem elektrické vodivosti, řada těchto polymerů se dá zvláknovat, což umožňuje jejich použití v textilních strukturách. Vodivé polymery jsou charakterizovány konjugovaným systémem π vazeb s elektrony.

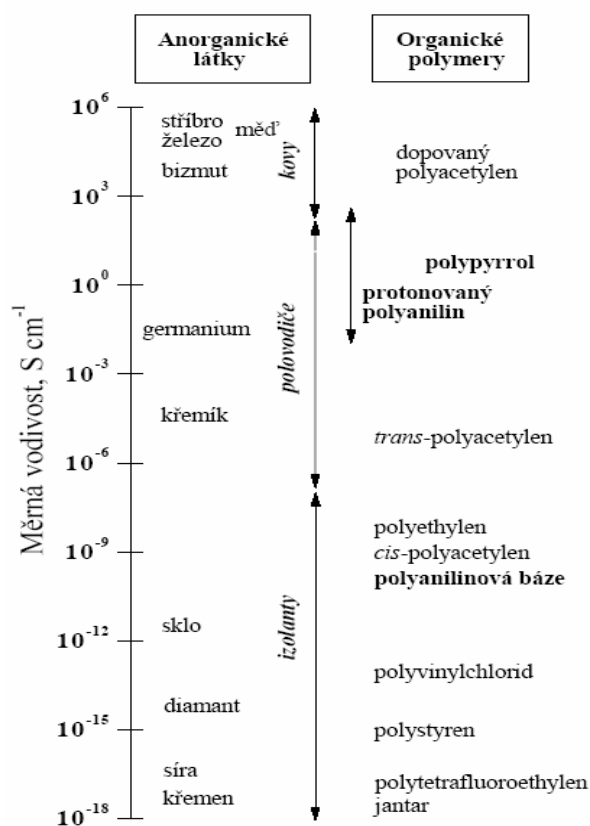
Jde o polymery obsahující aromatické řetězce, dvojné vazby, rezonanční struktury a iontové elektronové páry. Příkladem jsou polyacetylen, polyanilin, polythifen, polyfenylensulfid a polypyrrol. Většinou nejsou v čisté vodivé formě, ale vodivost se zvyšuje dopováním pomocí oxidačních, respektive redukčních látek

(jako je AsF₅), aby došlo ke změně pásmové struktury a zvýšení vodivosti alespoň na úroveň anorganických polovodičů. Výhodou polymerů je, že vodivost se dá výrazně měnit protažením nebo přidáním různých dopantů [26].

Polymer	Měrná vodivost [S/cm]	Dopant
Polyanilin	10	BF ₄ ⁻
Polypyrrol	100	BF ₄ ⁻
Polyacetylen	970	As ₅

Tab. 3 Vodivosti vybraných dopovaných polymerů při standardních podmínkách: teplota 20°C a měrná vlhkost 65% [26]

Vodivost těchto polymerů je tedy řádově mnohonásobně nižší ve srovnání s kovy jako je měď nebo stříbro, na druhé straně je ale o mnoho řádů vyšší, než je obvyklé u běžných polymerů. Srovnání je ukázáno na obr. 31

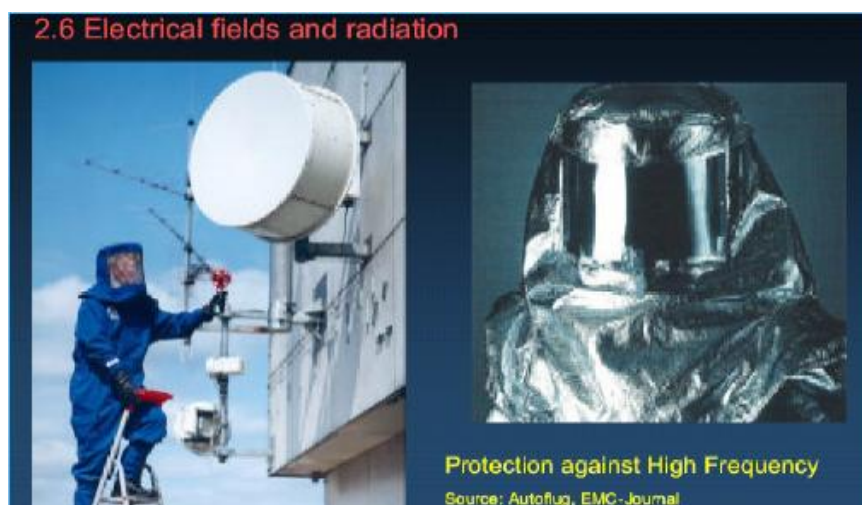


Obr. 31 Porovnání měrných vodivostí [27]

Z výše uvedeného srovnání tedy vyplývá, že pro vytvoření vodivých cest z hlediska vodivosti jsou nejvhodnější kovy. Kovová a uhlíková vlákna začala být používána v průmyslových aplikacích jako elektromagnetické stínění a odvod statického náboje.

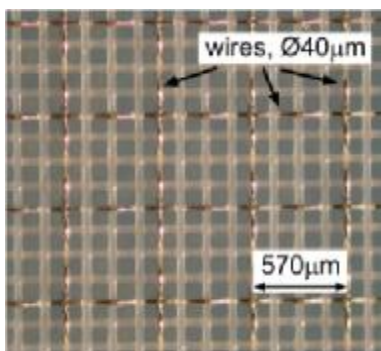
Příkladem mohou být pásové dopravníky, kde může třením vznikat a hromadit se elektrostatický náboj, v jehož důsledku může dojít k vytvoření jiskry, což je při dopravě hořlavých materiálů velmi nebezpečné, neboť může dojít k hoření. Antistatické oděvy se využívají v prostředí s nebezpečím výbuchu nebo pro superčisté pobozy, kde elektrostatický náboj přitahuje prachové částice, což je zde nežádoucí.

Vyzařování silného elektromagnetického záření ruší elektronické přístroje a zároveň ohrožuje lidské zdraví. Stínění tohoto záření je u přístrojů řešeno pomocí krytů konstruovaných z kompozitních materiálů, kde je jako výztuže použito kovových nebo uhlíkových vláken s povrchovou vrstvou niklu [28]. Stínění se využívá i v oblecích určených pro práci na zařízeních se silným vyzařováním elektromagnetického záření, jako jsou různé typy vysílačů obr. 32.

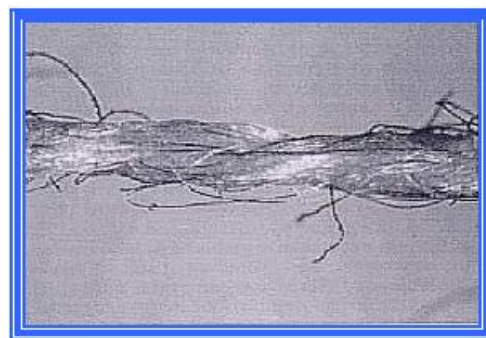


Obr. 32 Ochranný oblek proti elektromagnetickému záření [29]

Vodivá vlákna mohou být monofily nekonečných délek (obr. 33) nebo mohou mít staplové délky a být spřádány s tradičními nevodivými materiály. Vytvořením těchto směsových přízí lze měnit stupeň vodivosti, podle obsahu vodivé složky. Příklad je na obr. 34.



Obr. 33. Tkanina SEFAR INC
polyesterová příze a
měděné vlákno [23]



Obr. 34. Směsová příze polyester
a antikorozní ocel [10]

Přirozeně vodivá vlákna nebo kovová vlákna jsou vyvíjena z elektricky vodivých materiálů jako jsou slitiny železa, nikl, antikorozní ocel, hliník, měď a uhlík. Kovová vlákna jsou vyráběna buď tažením za tepla nebo za studena obvykle přes kónické otvory a to pro průměr drátků do 100 μm . Pro výrobu tenčích drátků se používá tzv. Taylorův proces. Princip je obalení silnějšího drátku vhodným sklem a protahováním za teplot, kdy je sklo změkklé a kov uvnitř buď plastický, nebo roztavený. Jako vhodné sklo se používá borosilikátové sklo typu Pyrex. Tímto způsobem lze vyrobit drátky řádově 10 μm silné [30]. Další možností výroby je oddělení velmi jemné třísky nekonečné délky z drátu, je to obdoba třískového obrábění. Současně vzniká více vláken na jedné řezné stanici a jednom odběrném místě. Vlákná jsou namotávána na cívky (dlouhá vlákna) nebo mleta ve mlýně (krátká vlákna). Tato vlákna mají obdélníkový průřez. Kovová vlákna jsou vysoce vodivá jsou však drahá a křehká, což vyžaduje opatrné zacházení při jejich zpracování. Navíc jsou těžší než většina textilních vláken a proto je stejnorodá směs obtížně vyrobitelná [31].

Elektricky vodivá vlákna mohou být také vyrobena nátěrem kovu na vlákno, galvanické substance nebo kovových solí jako jsou sulfidy a jodidy mědi. Kovové nátěry na vlákna vytváří vysoce vodivá vlákna, avšak adheze a odolnost proti korozi mohou způsobovat problémy.

Galvanické pokovení, což je nanášení povlaku na povrch výrobku elektrolytickým vylučováním povlakového kovu poskytuje také poměrně vysokou vodivost, ale může být použito pouze u vodivého substrátu, jako jsou uhlíková vlákna. Kvůli složitosti průmyslové výroby a její nákladnosti se galvanické pokovení obvykle u textilních materiálů nepoužívá [10].

Vodivá vlákna jsou samostatně zatkávána (obr. 33) nebo mohou být před zatkáním nabalena například na hedvábí, které poskytuje pevnost v tahu, která dovoluje tkaní na průmyslových strojích, jako je to u kovové hedvábné organzy (obr. 35).



Obr. 35 Kovová organza [10]

Vodivé nitě jsou typicky pevnější než vodivé příze, takže s nimi lze strojově šít. Vytvoření vodivé cesty je tedy, řízeno umístěním stehu. U této metody vytvoření vodivé cesty je výhodou, že se dá využít projektování pomocí počítače (CAD) a na programovatelném šicím stroji vyšít požadovaný tvar, příkladem může být textilní klávesnice MIT (obr. 13).

Vytvořit z textilního substrátu elektricky vodivý materiál bez významného zásahu do již existujících vlastností substrátu, lze pomocí různých způsobů, jako jsou bezproudové pokovení, pokovení odpařováním ve vakuu, pokovení rozprašováním, nátěrem vodivého polymeru a karbonizací.

Bezproudové pokovení (Electroless plating) je řízené autokatalycké nanášení kovového povlaku vzájemným působením soli kovu a redukčního činidla. Pokovení se objevuje na povrchu katalyzátoru nebo na vhodně aktivovaném povrchu. Textilie je ponořena do pokovovacího roztoku, kde je na ní nanesena niklová nebo měděná vrstva. Bezproudové pokovení produkuje jednolitý elektricky vodivý nátěr, je však nákladné [32].

Pokovení odpařováním ve vakuu (Evaporative deposition) je také metodou vytváření tenké vodivé vrstvy. Zdrojový materiál je odpařován ve vakuu. Vakuum umožňuje částicám páry přecházet přímo na cílový objekt (textilní substrát), kde kondenzují a stává se z nich opět pevná látka. Tento proces vytvoří plastický kovový film, kdy můžeme vytvořit různé tloušťky vodivé vrstvy a tím regulovat vodivost. Typickým kovem používaným jako odpařovaný materiál je hliník [33].

Pokovení rozprašováním (Sputtering), je fyzikální proces, při kterém jsou atomy z pevného materiálu vystřelovány do plynné fáze, díky bombardování tohoto materiálu energetickými ionty. Vystřelené atomy se ukládají na substrátu a vytváří tenkou vodivou vrstvu. Rozprašování probíhá v komoře s ochrannou argonovou atmosférou. Při tomto procesu může být vytvořena tenká vodivá vrstva s dobrou adhezí k substrátu, ale rychlost pokovování je pouze desetiprocentní oproti pokovování odpařováním ve vakuu a je poměrně drahé [34].

Vodivá vrstva se dá vytvořit pomocí vodivých polymerů uvedených výše, jako je polyanilín a polypyrrol. Některé dnes vyvíjené polymery mohou mít vodivost lepší i než kov, mají výbornou adhezi a antikorozi vlastnosti, ale jsou obtížně použitelné při užití konvenčních metod nánosu na textilní substrát.

Karbonizace jako tvorba vodivého textilu zahrnuje zpracování v karbonizační peci při teplotách vyšších než 1000°C, kdy dojde k vytvoření vodivé textilie.

Vodivé tiskařské pasty jsou další alternativou pro vytvoření vodivých cest. Přidáním kovů jako je měď, stříbro, nikl, zlato nebo uhlík do tradiční tiskařské pasty vytvoříme vodivou tiskařskou pastu, tato pasta může být natištěna na různorodé textilní substráty a tím vytvořeny elektricky aktivní vzory. Technologie vodivých past byla původně vyvinuta pro chytré karty nebo desky plošných spojů, tyto technologie jsou běžně používány v rozličných aplikacích objevujících se na trhu jako jsou počítače, komunikační prostředky nebo například průmyslová elektronika. Používání vodivých past pro pružné plošné spoje se oproti tradičním technikám zvyšuje díky jejich výhodné ceně a zvýšení jejich trvanlivosti, spolehlivosti, rychlosti obvodů a zmenšení velikosti obvodů. Aplikace s vodivými pastami jsou vhodné, protože dovolují ohýbání a praní substrátu bez ztráty vodivosti. Vodivé pasty jsou v současnosti nanášeny tiskařskými technikami jako je hlubotisk, gumotisk a rotorový sítotisk. Tyto klasické tiskařské metody jsou však vhodné spíše pro výrobu ve velkých sériích než pro řešení jednotlivých konkrétních aplikací. Zde se nabízí využití digitálního tisku, který nabízí všestrannost a pružnost produkce. Digitální tisk podnítl vývoj řady vodivých tiskařských past, přičemž jsou na tyto pasty a digitální tisk kladeny nároky ohledně vhodné viskozity, konstantní vodivosti ve všech místech pasty při jejím míchání v nádrži, aplikace vhodného množství pasty, fixace pasty po tisku a další [10].

Dalším způsobem přenosu informace textilem je využití optických vláken. Elektrická energie se převede na energii světelnou například pomocí LED diody. Tento způsob přenosu informace je však vhodný pouze pro digitální komunikaci.

Optické vlákno je tenké vlákno o průměru nižším než 100 μm z taveného křemene nebo jiné transparentní látky. V optickém vlákně se šíří elektromagnetické vlny (světlo či infračervené záření) ve směru osy s využitím principu absolutního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vnitřní část vlákna se nazývá jádro, okolo jádra je plášť a primární ochrana [35]. Optická vlákna mají vysokou pevnost i odolnost proti slunečnímu záření, jsou však poměrně tuhá, mají malou pružnost, pevnost v oděru a snižují splývavost textilie.

5.2. Připevnění elektronických komponent

Elektronické komponenty je nutné na textilní substrát připevnit vhodným způsobem podle jejich provedení. Mohou to být jednotlivé součástky nebo zkompletované elektronické zařízení, které je uloženo v pouzdře nebo vytvořené na pružném plošném spoji. Způsobů propojení komponent a textilu je několik, proto je vhodné hledat vždy optimální metodu pro konkrétní aplikaci.

- Letování (pájení)

Letování je vytvoření nerozebíratelného spoje dvou kovů pomocí pájky, která má nižší bod tání než základní materiál. Spoj vzniká difúzí pájky do ohřátého základního materiálu. Při pájení se používají lehké slitiny olova (Pb), cínu (Sn) nebo někdy i stříbra (Ag) [36]. Používané slitiny nejsou vzhledem ke své toxicitě vhodné pro aplikace, při kterých dochází ke kontaktu spoje s lidským tělem. Výhodou pájení je výborná elektrická vodivost spoje a nízká cena. Naopak mechanické vlastnosti spojení nejsou příliš vhodné pro oděvní účely a navíc se snižuje pružnost textilu a tvoří se na ní výstupky. Vytvoření spoje může být v některých případech poměrně pracné a obtížné.

- Chemické připevňování komponent na textilní substrát pomocí adheziv

Použití vodivých adheziv je obdobou pájení, místo pájky je však použito adhezivum. Komponenta je na povrch textilního substrátu připevněna pomocí adheziva, tedy přilepena. Výhodou této metody oproti pájení je možná volba vhodného adheziva. Požadavky kladené na adhezivum jsou netoxičita, vysoká vodivost, pružnost spojení a dobrá odolnost proti mechanickému namáhání.

- Mechanické připojení komponenty pomocí stiskacího patentu

Tato metoda propojení vodivých cest s elektronickou komponentou je založena na umístění spodní části patentu do vyšší vodivé cesty. Na patent potom může být nacvaknuta komponenta se speciálně upraveným pouzdem, které je opatřeno horní částí patentu (obr. 36). Spodní část patentu musí být na textilním substrátu umístěna tak, aby patent byl v neustálém kontaktu s vodivou cestou a tím bylo zaručeno vodivé spojení, které se nemění při pohybu textile. Výhodou této metody je možnost snadného odpojení elektronické komponenty například před údržbou oděvu. Naopak nevýhodou je nutnost použití speciálního pouzdra opatřeného patentem a snížení volného pohybu textilního substrátu.



Obr. 36 Připojení elektronické komponenty pomocí stiskacího patentu [37]

- Připojení komponenty přímo vodivou nití (přišití)

Elektronická komponenta je u tohoto principu připevněna pomocí provázání vodivé svorky komponenty vodivou nití. Tento způsob je vhodný při připevňování pružných plošných spojů. Plošný spoj je umístěn na textilní substrát a vytvořením stehu přes kovový kontakt (svorku) dojde k mechanickému a vodivému spojení s textilií (obr. 37). Pro zvýšení mechanické odolnosti spojení a snížení namáhání vodivých nití může být plošný spoj k textilnímu substrátu přilepen.



Obr. 37 Připojení pružného plošného spoje na textilní substrát přišitím [38]

5.3. Zdroje elektrické energie [38]

Existuje několik způsobů, jak získávat energii pro autonomní elektronické systémy integrované v oblečení. Volba vhodného způsobu napájení je daná porovnáním množstvím poskytované energie a aspektu integrace.

Přímé zdroje energie jsou baterie, ať již klasické nebo dobíjecí. Dále lze energii získávat ze zdrojů, jež nejsou primárně určeny jako zdroje energie. Například může být energie získávána z rozdílné teploty nositele a prostředí, nebo pohybu oblečeného atd. Tento způsob získávání energie z vedlejších zdrojů může omezovat pohyblivost nositele a proto nemusí být příliš vhodný. Přehled je v tab. 4.

Zdroje energie	Dostupné množství energie	Poznámky
Baterie (Li)	400 Wh/kg, 800Wh/l	
Nabíjecí baterie (Li-Ion)	75Wh/kg, 200 Wh/l	životnost:2000 cyklů
Solární panely-Si	20 W/m ²	potřeba osvětlení nebo slunečního svitu
Výtěžnost tělesné teploty	0,01/m ²	
Energie z dýchání	0,4W	Nepohodlné pro nositele
Energie získaná chůzí	0,25W	Nezbytná souvislá chůze
Mikrospalování	10-50W/cm ³	Potřeba paliva, pouze v laboratorních podmínkách

Tab. 4 Možné zdroje energie pro elektroniku integrovanou v textilu [38]

- Solární panely

První možností je získávání energie ze solárních panelů, která vzniká v důsledku dopadu slunečního záření. Dopadem tohoto záření vzniká na panelu elektrické napětí díky fotovoltaiickému jevu. Solární energie je elektromagnetické záření, obsahuje kromě viditelného světla (vlnová délka $\lambda=400-750\text{nm}$) ještě ultrafialové ($\lambda>400\text{nm}$) a infračervené záření ($\lambda<750\text{nm}$). Solární panely jsou vyráběny z polykrystalického, monokrystalického nebo amorfního křemíku. Pro textilní aplikace je vhodné užít amorfni křemík,

protože je používán jako tenkovrstvý materiál, panel je pak ohebný. Nevýhodou amorfního křemíku je nízká účinnost (v porovnání s monokrystalickým křemíkem až poloviční) a pokles výkonu s časem (stárnutí). Typický maximální výkon ohebných solárních panelů je v současné době 20W/m^2 . Příkladem může být mobilní telefon (např. NOKIA 8310), k jejímuž napájení je potřeba články o velikosti $20\text{cm} \times 20\text{cm}$. Cena pružných slunečních fotoelektrických článků se pohybuje mezi $200\text{--}1000\text{ €/m}^2$. Vzhledem k této poměrně vysoké ceně probíhá výzkum možností využití jiných fotocitlivých materiálů, než je křemík. Jednou z možností je použití vodivých polymerů. Ty jsou pro textilní aplikace obzvlášť vhodné, protože jsou lehké a pružné, mohou vytvářet extrémně tenkou plochu, ale zatím se nepodařilo vytvořit materiál s dostatečnou účinností [39]. Solární panely se dají použít pro přímé napájení elektronických aplikací nebo pro dobíjení baterií.

- Energie získávaná z teploty lidského těla

Při získávání energie z teploty lidského těla je využíváno termoelektrické baterie. Princip termoelektrické baterie je založen na Seebeckovu jevu. Termobaterie nebo termočlánek se skládá ze dvou rozdílných vodivých materiálů (obvykle kovů), které jsou na jedné straně spojeny. Když nastane teplotní rozdíl mezi tímto spojením a druhou stranou kovových materiálů, začíná vznikat elektrické napětí. Výstupní napětí a energii lze zvýšit zapojením rozdílných termočlánků, které tvoří termoelektrickou baterii. Tento způsob není příliš vhodný, protože získaná energie je velmi nízká.

- Energie získávaná z pohybu

Užitím elektromechanických systémů nebo piezoelektrických materiálů lze mechanickou energii přeměnit na elektrickou. Mechanickou energii můžeme získat z různých pohybujících se částí těla: hrudník (dýchání), ruce, nohy, chodidla (došlap). Elektromechanické systémy mají vyšší účinnost, ale pro textilní aplikace jsou vhodné spíše piezoelektrické materiály, protože se dají vyrobit jako pružné filmy, které se dají snadno integrovat na textilii a díky tomu je textilie nositelná bez problému. Napětí při použití piezoelektrických materiálů vzniká tlakem.

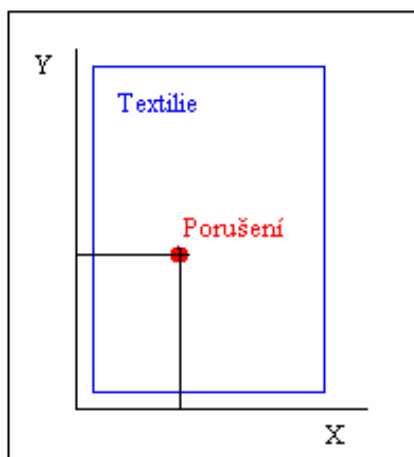
6. Experimentální část

Cílem této práce bylo navrhnout a odzkoušet systém, který by umožňoval rozpoznat průnik cizího předmětu textilním materiálem a určit místo, kde byl materiál poškozen.

Možnost rozpoznat porušení materiálu a určit pozici poškození je vhodná pro vojenské účely a to konkrétně pro rozšíření způsobů ochrany zdraví vojáků. Ochrana zde není přímá, jako například u neprůstřelné vesty nebo ochranné přilby, ale spočívá v možnosti informovat záchranný tým o zranění, které bylo způsobeno proniknutím cizího předmětu neprůstřelnou vestou nebo uniformou. Proniknutí materiálu může způsobit vystřelený projektil, úlomek (střepina) po výbuchu, případně bodná zbraň při boji zblízka. Informace o průniku cizího předmětu textilním materiálem je důležitá pro určení toho, zda došlo ke zranění vojáka a je nutné mu okamžitě pomoci. Určení místa průniku pak může pomoci správně složit záchranný tým jak z hlediska výběru lékařských specialistů, tak vhodného vybavení. Aby informace o místě zranění měla smysl, mělo by být vyhodnocování porušení materiálu součástí systému, který by komplexně monitoroval vitální funkce organismu, jako je dýchání, EKG, krevní tlak a další a tyto informace odesílal. Potom by tato informace mohla pomoci při určení rozsahu a charakteru zranění již před příjezdem zdravotnického týmu.

6.1. Měřicí princip

Princip měření, tedy určení místa porušení materiálu, je velice jednoduchý. Je založen na vyhodnocování přerušení vodivé cesty, která je umístěna na nebo v textilií. Systém se skládá z textilie, která slouží jako senzor místa porušení a z elektronického obvodu, který vyhodnocuje získané informace z textilního senzoru. Při porušení textilního senzoru proniknutím cizího předmětu dojde k přerušení vodivých cest. Textilní senzor musí být schopen toto porušení zaznamenat. Vodivé cesty tedy musí být rozmístěny tak, aby při jakémkoli průniku cizího předmětu textilním senzorem došlo k jejich poškození (přerušení). Systém identifikuje místo porušení na určité ploše, tedy v dvourozměrné soustavě. Z toho vyplývá, že pro jasné určení místa porušení je nutné znát dva údaje, v pravoúhlé soustavě je to poloha vztahená k ose x a y . Jedná se tedy o zjištění souřadnic x a y místa, ve kterém došlo k porušení textilie (obr. 38).



Obr. 38 Ilustrace principu měření

6.2. Textilní senzor

Aplikace měla být navržena tak, aby se dala vyrobit. Proto bylo prvním úkolem najít firmu, která by byla schopná vytvořit daný textilní senzor podle zadaných parametrů. Jako vhodný typ textilie byla zvolena tkaná struktura s možností zatkání měděných vodičů ve směru osnovy i útku. Tkanina, která obsahuje kovová vlákna zatkaná v příslušné soustavě s klasickými textilními přízemi, musí být tkána na speciálním stávku kvůli tomu, že na textilní materiál a kovové vodiče jsou potřeba rozdílné napínací síly.

Stávek, na kterém by se textilní senzor dal vytvořit, má textilní fakulta ve své tkalcovně, vytvoření pouhého vzorku by však bylo nákladné a velmi pracné. Proto byla snaha nalézt firmu, která by měla podobné zařízení a byla schopná splnit příslušné požadavky. Tyto požadavky jsou, aby senzor splňoval základní měřicí princip, tedy obsahoval zatkané měděné vodiče v osnově a útku, které by od sebe byly elektricky izolované. Tkanina by v tomto ohledu byla podobná tkanině vyráběné firmou SEFAR INC., která byla použita u hybridního textilního snímače teploty kap. 4.2.2 (Hybridní textilní snímač), (obr. 27).

V České republice existuje několik firem, které se zabývají výrobou tkanin s vodivými vlákny ať již měděnými nebo uhlíkovými. Takovéto tkaniny se používají v aplikacích pro antistatické účely. Žádná z tkanin však nesplňovala požadavek, aby byly vodivé cesty zatkané v obou soustavách a vzájemně od sebe elektricky izolované. Tento problém by se dal odstranit použitím tkaniny se zatkanými vodivými vlákny pouze

v jedné soustavě a vytvořením třívrstvé struktury (obr. 39), v níž jsou dvě vrstvy s vodivými vlákny, které jsou vzájemně otočené o 90° , a mezi ně je vložena vrstva z elektricky nevodivého textilního materiálu.

Dané základní požadavky byla schopna splnit firma Spolsin s.r.o. z České Třebové. Takovou látku však Spolsin s.r.o. nevyrábí průmyslově. Tkanina by byla vyvzorkována na zakázku, což přináší výhodu v podobě možnosti volby použitého textilního materiálu a rozteče měděných vodičů, avšak cena tkaniny byla poměrně vysoká (cca. 6500 Kč za tkaninu o rozměrech $0,5 \times 1,7$ m). Firma Spolsin s.r.o. poskytla vzorek, který sice nesplňuje zadané požadavky, ale bylo možné si vytvořit představu o charakteru tkaniny a odzkoušet připojení k elektronickému vyhodnocovacímu obvodu.

Princip zjišťování místa porušení z hlediska vyhodnocovacího elektronického zařízení je možné simulovat izolovanými vodiči, které nemusí být zatkané v tkanině, nebo tím, že některé vstupy zařízení nejsou zapojeny (v principu stejně jako, když jsou měděné vodiče v tkanině přerušeny). Bez tkaniny vyrobené podle zadaných parametrů však nelze ověřit její mechanické vlastnosti a to obzvlášť její chování po porušení průnikem cizího předmětu.

Na získaném vzorku tkaniny je vidět, že není příliš odolný při ohybu. Když je materiál opakovaně ohnut, dochází k povytažení měděných vodičů z tkané struktury, což po nějaké době způsobí vytvoření malého oka z měděného drátu. Měděný vodič je velmi tenký, aby se dal tkát společně s textilním materiálem, vytvořené oko je tedy náchylné k poškození například zadrhnutím o jiný předmět. Takové poškození by znamenalo zničení senzoru. Protože textilie je málo odolná vůči namáhání ohybem, bylo by nemožné i její čištění praním. Senzor tedy není vhodné používat jako součást uniformy, což by ovšem bylo nejvýhodnější. Mnohem vhodnější je jeho využití coby součásti neprůstřelné vesty. Senzor by byl umístěn na spodní straně (na rubu) vesty, nebo by byl integrován jako její součást. Neprůstřelná vesta by zajišťovala, že by se senzor příliš neohýbal a tím by nedocházelo k narušení tkané struktury a vytahování měděných vodičů z ní. Při průchodu předmětu neprůstřelnou vestou by tedy došlo k porušení senzoru a vyhodnocení stavu znamenajícího zranění vojáka.

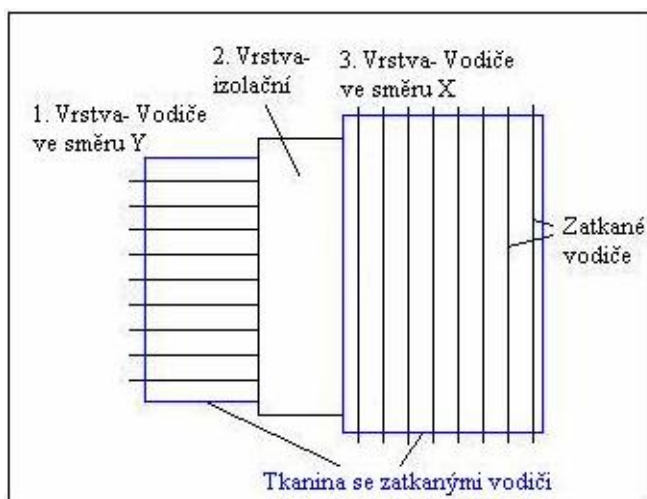
Rozměry textilního senzoru by tedy byly dány rozměry neprůstřelné vesty. Ideální je senzor s co nejvyšší plochou, na které může být vyhodnocen zásah. Minimální rozměry jsou dány velikostí trupu, což je přibližně 35×45 cm. Senzor by měl být umístěn pod předním i zadním dílem vesty.

6.2.1. Princip textilního senzoru

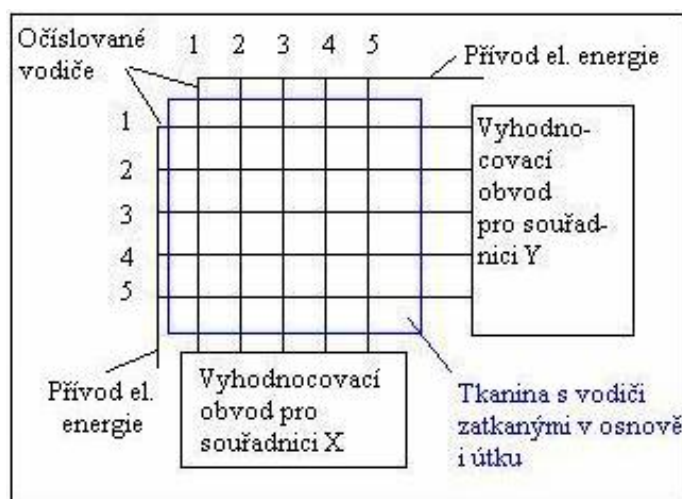
Textilní senzor (obr. 40) je tvořen tkaninou, která má zatkané měděné vodiče s přesně definovanou roztečí. Měděné vodiče vytvářejí souřadnicovou síť, to znamená, že každý měděný vodič je reprezentován hodnotou, která přesně definuje jeho polohu v tkanině. Tato hodnota může být vyjádřena binárním číslem, posloupností bitů nebo velikostí napětí a to podle druhu a konstrukce vyhodnocovacího obvodu. Když je tkanina zasažena cizím předmětem, který jí pronikne, dojde k přerušení měděných vodičů a vyhodnocovací obvod zaregistruje souřadnici (hodnotu, kterou je vodič reprezentován) přerušeného vodiče.

Měděné vodiče jsou připojeny na stejnosměrné elektrické napětí z baterie nebo jimi prochází elektrický impuls vysílaný vyhodnocovacím obvodem. Právě toto připojení senzoru ke zdroji elektrické energie umožňuje identifikaci místa porušení tkaniny. Vyhodnocovací obvod detekuje přerušený vodič, což je vodič, kterým neprochází elektrický proud. Podle konstrukce je zaznamenáváno, jestli je vstup obvodu propojen zatkaným vodičem s baterií, zda byl na vstupu rozpoznán impuls poslaný přes tento vodič nebo došlo-li ke změně elektrického napětí z důvodu přerušení vodiče.

Vyhodnocovací obvod je složen ze dvou částí. Každá část sleduje souřadnice v jedné soustavě, jedna část tedy zaznamenává x-ovou a druhá y-ovou souřadnici.



Obr. 39 Textilní senzor s třívrstvou strukturou



Obr. 40 Ilustrace funkce textilního senzoru

6.2.2. Citlivost textilního senzoru

Citlivost textilního senzoru zde vyjadřuje schopnost zaregistrovat porušení textile, tedy průchod cizího předmětu tkaninou. Je to určení rozměrů nejmenšího možného předmětu, který ještě při průchodu tkaninou přeruší měděné vodiče. To znamená, že citlivost je určena roztečí jednotlivých vodičů. Z toho vyplývá, že čím vyšší je počet vodičů v tkanině stejné plochy, tím nižší budou rozteče mezi jednotlivými vodiči. Počet vodičů v tkanině a tím i rozteče mezi nimi je nutné určit s ohledem na několik parametrů:

1. Z hlediska použití -

Při volbě roztečí zatkaných měděných vodičů je důležité vzít v úvahu, kde bude textilní senzor využíván. Vhodná volba roztečí (vzdálenost mezi jednotlivými vodiči) závisí na požadované citlivosti a z toho vyplývajícím zaručení jistoty vyhodnocení porušení materiálu. Jak bylo již uvedeno, tkanina není příliš vhodná pro přímé užití, coby materiálu pro výrobu oděvu. Proto se jako nejvhodnější použití senzoru jeví jeho umístění pod neprůstřednou vestu, tudíž je nutné brát v potaz vlastnosti vesty. Respektive vlastnosti a rozměry předmětu, který je schopen neprůstřednou vestou projít.

Bohužel definovat přesně rozměry předmětu, který může projít neprůstřednou vestou je obtížné, ne-li nemožné. Záleží totiž na mnoha faktorech, které

lze těžko spojit do jednoho uceleného souboru vhodného pro určení ideálních rozměrů jednotlivých roztečí. Příklad ráží a průměrů střely je ukázán v tab. 5.

Ráž	Průměr střely	Délka náboje	Délka nábojnice	Průměr dna náboje
.22	5.72	25.40	15.57	7.06
6,35 Browning	6.38	23.00	15.55	7.65
7,62 Tokarev	7.90	35.20	25.00	9.95
7,65 Browning	7.85	25.00	17.20	9.10
9 mm Browning	9.04	25.00	17.20	9.10
9 mm Makarov	9.27	25.00	18.10	9.95
9 mm Luger	9.03	26.69	19.15	9.96
.40 S&W	10.17	28.83	21.59	10.77
.45 ACP	11.48	32.39	22.81	12.19
.38 Special	9.12	39.37	29.37	11.18
.357 Magnum	9.12	40.39	32.77	11.88

Tab. 5 Ilustrace průměrů střel [40]

Střelivo uvedené v tabulce se používá pro pistole a revolvery, to však pro představu o rozměrech střely stačí. Rozměry munice pro další palné zbraně jako je samopal či různé druhy pušek atd. jsou podobné. Standardní náboj používaný NATO má ráži 5,56 mm [41]. To je v porovnání s náboji v tabulce nejmenší ráže a tudíž by se z ní dalo vycházet při návrhu rozměrů roztečí. Proto se zdá ideální rozměr rozteče 5 mm, který bude dále využíván i pro ilustrační příklady.

Velikosti a rozměry střepin jsou velmi těžko popsitelné, proto je lepší vycházet z rozměrů projektilů.

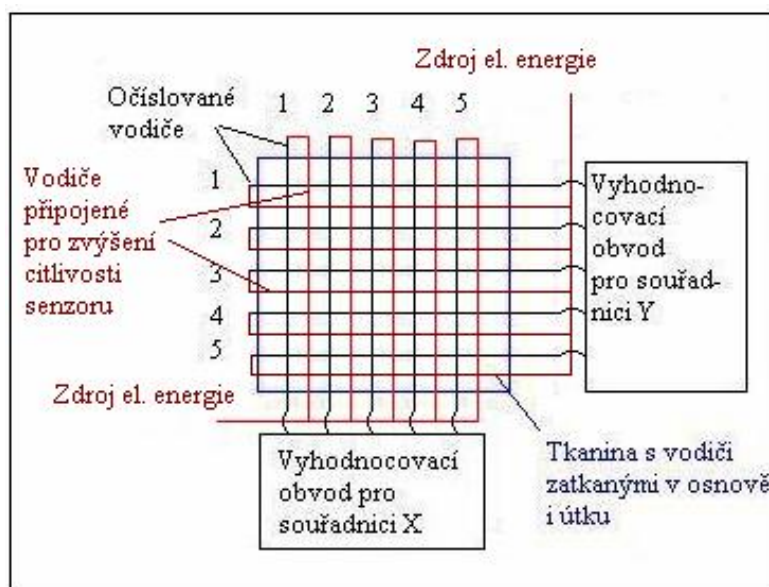
2. Rozlišení elektronického vyhodnocovacího obvodu -

Rozlišením obvodu se rozumí počet úrovní (zatkaných vodičů), které mohou být k elektronice připojeny a při přerušení je vyhodnocena jejich poloha. Vyhodnocovací obvod má daný svou konstrukcí konečný počet vstupů a tím i konečný počet úrovní (hodnot souřadnic), které může vyhodnotit. Jako příklad může sloužit obr. 52 (Ilustrace funkce textilního senzoru). Na kterém může vyhodnocovací obvod rozlišit pět souřadnic ve směru x a pět ve směru y.

Rozlišovací úroveň vyhodnocovacího obvodu se tady dá změnit pouze změnou konstrukce obvodu. Při stejné rozlišovací schopnosti lze však zvýšit citlivost senzoru. To znamená použít senzor, ve kterém je vyšší počet zatkaných měděných vodičů, než jaká je rozlišovací úroveň vyhodnocovacího obvodu. Z toho vyplývá,

že může být vytvořen textilní senzor na odpovídající ploše s předem zvolenou citlivostí bez změny konstrukce vyhodnocovacího obvodu.

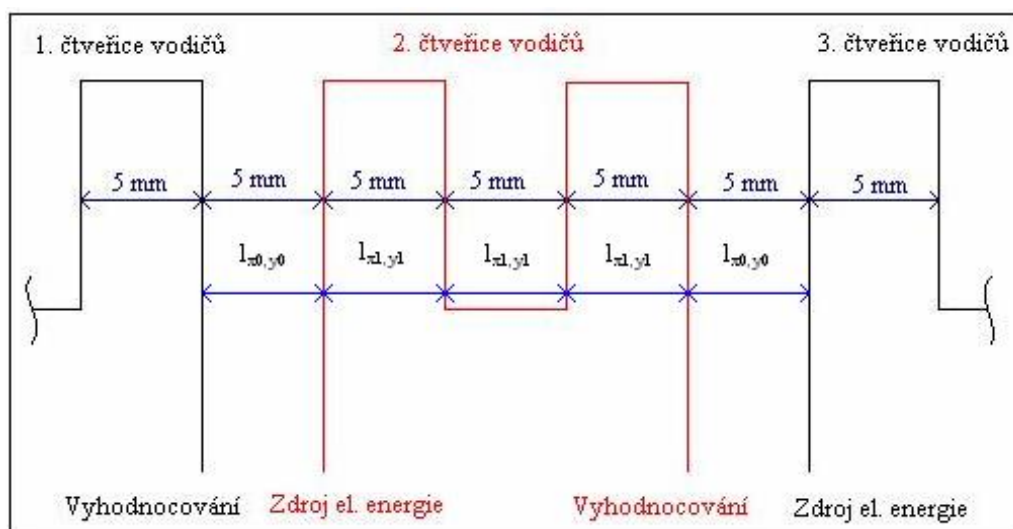
Princip změny citlivosti spočívá v propojení vodičů, které jsou zatkány v příslušné soustavě x nebo y (tedy ve směru osnovy nebo útku) přímo vedle sebe. Princip je ukázán na obr. 41. Pro ilustraci je využito předchozího obr. 40 (Ilustrace funkce textilního senzoru), který je upraven tak, aby znázorňoval zvýšení citlivosti. Jak je z obrázku vidět, použitá tkanina má počet zatkaných vodičů dvojnásobný, tím je dosaženo zvýšení citlivosti. Vodiče, o které je tkanina rozšířena, jsou znázorněny červeně a jsou spojeny s vodiči (černá barva), které leží v tkanině přímo vedle nich. Vyhodnocovací obvod je stále připojen pouze na pět původních vodičů (označené čísly), to znamená, že může rozlišit opět pouze pět x-ových a pět y-ových souřadnic. Rozlišení tedy zůstává stejné, ale jak je již na první pohled z obrázku patrné, síť zatkaných vodičů je hustší, takže senzor může zaznamenat porušení předmětem o menších rozměrech, takže je zvýšena citlivost senzoru.



Obr. 41 Zvýšení citlivosti textilního senzoru

Aby bylo možné jednoznačně určit místo porušení, musí být přerušen alespoň jeden vodič reprezentující x-ovou a jeden y-ovou souřadnici. Citlivost senzoru může být zvýšena vícenásobně, například (obr. 42) spojením čtyř vedle sebe ležících měděných vodičů s roztečí 5 mm, které však jsou připojeny pouze na jeden vstup vyhodnocovacího obvodu, tedy reprezentují pouze jednu souřadnici. Senzor

je schopen vyhodnotit své porušení předmětem s průměrem vyšším než je 5 mm, když uvažujeme předmět s kruhovým průřezem.



Obr. 42 Rozložení vodičů při čtyřnásobném zvýšení citlivosti

Hodnota udávající rozlišení příslušná k jedné souřadnici je tedy 15 mm mezi vodiči příslušné čtveřice plus 5 mm na každé straně, což je po součtu 25 mm při zanedbání průměru měděných vodičů (řádově desetiny milimetru). Vztah pro přesnost určení místa porušení je dán vzorcem 10. Když je použita tkanina, která má zatkané měděné vodiče se stejnými roztečemi v osnově i útku, tak pro tento případ jedna souřadnice x a y reprezentuje plochu o rozměrech 25×25 mm. Jediný vodič, který reprezentuje jedinou souřadnici, pak má přesnost danou vztahem, ve kterém jsou pouze rozteče $l_{x0,y0}$.

$$P_{x,y} = 2 * l_{x0,y0} + \sum l_{x1,y1} [mm] \quad (10)$$

$P_{x,y} [mm]$... Přesnost určení místa porušení soustavy x nebo y

$l_{x0,y0} [mm]$... Rozteč mezi vodiči nebo skupinou vodičů, které reprezentují jinou souřadnici (rozteč mezi dvěma souřadnicemi)

$l_{x1,y1} [mm]$... Rozteč mezi vodiči skupiny vodičů, které jsou navzájem mezi sebou propojeny a dohromady reprezentují jedinou souřadnici

Když vyhodnocovací obvod zaznamená porušení materiálu u dvou vedle sebe ležících vodičů, může to být ve finále vyhodnoceno při určování místa porušení třemi způsoby, což zavádí určitou nejednoznačnost.

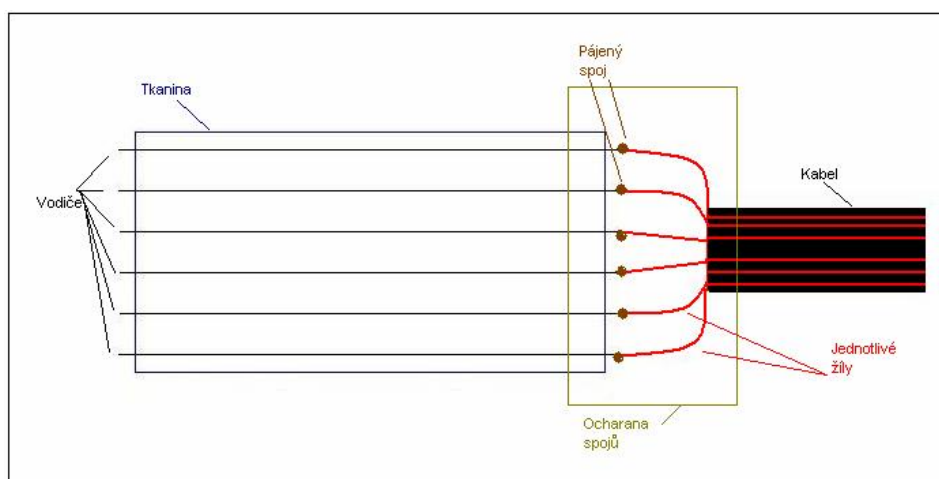
- Vnikající materiál projde mezi jednotlivými vodiči nebo skupinami spojených vodičů přibližně prostředkem (polovina rozteče vodičů). Jeho průměr odpovídá předpokladu, že průměr je vyšší než velikost roztečí 5 mm, ale nepřesahuje velikost 3×1 , pro náš příklad 15 mm, typické pro rozměry většiny standardních nábojů, tím přeruší dva vodiče a způsobí zaznamenání dvou sousedních souřadnic.
- Předmět pronikne materiálem a poruší dva sousední vodiče. To může znamenat, že předmět má mnohem vyšší průměr než je rozteč vodičů, což může způsobovat značné zkreslení o představě zranění, hlavně při užití vícenásobného zvýšení citlivosti (např. čtyřnásobně) s poměrně velkými roztečemi. Příklad uvedený na obr. 42 by mohl být při zaznamenání přerušení vodičů dvou sousedních souřadnic vyhodnocen jako zvýšení přesnosti teoreticky až na 5×5 mm (prakticky 15×15 mm) viz. předchozí bod, nebo také jako průchod předmětu až s rozměry 45×45 mm.
- Další možností je, že došlo ke dvěma zásahům (přerušením dvou vodičů) vedle sebe. I zde je vidět, že při velkém zvýšení citlivosti s většími roztečemi je to vcelku pravděpodobné, takže se tato možnost musí vzít při vyhodnocování také v úvahu. Když jsou u senzoru malé rozteče vodičů a každá souřadnice reprezentuje pouze jediný vodič, je pravděpodobnost dvou takovýchto zásahů vedle sebe velmi malá, když dojde k zaznamenání těchto souřadnic v jeden okamžik a při vyhodnocování se mohou uvažovat spíše předchozí body.

6.3. Propojení elektroniky s textilem

Propojení elektroniky s textilním senzorem představuje problém. Různé možnosti spojení textílie a elektroniky jsou popsány v kap. 5.2 (Připevnění elektronických komponent). Textilní senzor obsahuje desítky zatkaných měděných vodičů, proto je propojení velmi náročné.

Vzorek získaný od společnosti Spolsin s.r.o. posloužil pro odzkoušení propojení

textilního senzoru a elektroniky. Tkanina byla na konci vytřepána tak, aby z ní vystupovaly pouze měděné vodiče, které přesahují nově vzniklý konec tkaniny o 1 až 1,5 cm. Pak byl použit 40 žilový kabel, který slouží k propojování harddisků. Ten byl uprostřed přestřižen a jednotlivé žíly od sebe byly odděleny. Žíly byly zarovnaný tak, aby vytvářely vějířovitý tvar, přičemž žíly uprostřed jsou nejkratší a postupně se zvyšující se vzdáleností od prostředku se prodlužují, jak je uvedeno na obr. 43.



Obr. 43 Ilustrace propojení tkaniny s kabelem

Jednotlivé žíly byly na konci odizolovány, pocínovány a pájením spojeny s vodiči zatkanými v tkanině. Vodiče tkaniny mají velmi malý průměr (řádově desítky μm) a díky tomu je manipulace s nimi velmi pracná a celý proces připojení kabelu a tkaniny zdoluhavý. Rozhraní mezi kabelem a tkaninou je náchylné na mechanické namáhání, při němž by došlo ke zničení pájených spojů nebo přetržení měděných vodičů. Rozhraní je tedy nutné zajistit proti mechanickému poškození. Ochrana spojů musí být samozřejmě z elektricky nevodivé látky, protože jinak by docházelo k elektrickému spojení vodičů v místě pájených spojů. U vzorku, který byl pokusně spojován, byl jako ochranný materiál na spoje použit silikon. Vodiče, které vystupují z tkaniny, nesmí být příliš dlouhé, stejně jako odizolovaná část žíly, jinak by mohlo dojít při nanášení ochranné vrstvy k dotyku sousedních spojů, které by v tomto vodivém styku mohly zůstat zafixovány v ochranné vrstvě.

Textilní senzor s plochou, která má minimální rozměry 350×450 mm a ideální velikost roztečí 5 mm, potom však obsahuje 70×90 vodičů. Vysoký počet vodičů je problémem při připojení senzoru na sběrnici (kabel), kterou je senzor propojen s elektronickým vyhodnocovacím obvodem.

6.4. Elektronický vyhodnocovací obvod

Elektronika zajišťuje vyhodnocování informací získaných z textilního senzoru a jejich další zpracování. Aby byly informace o zdravotním stavu vojáka použitelné pro vyhodnocení jeho stavu, musí být informace z textilního senzoru přivedeny k vysílači, zkompletovány s daty z ostatních senzorů a odeslány do vyhodnocovacího střediska.

Zkoušené varianty zapojení byly vytvořeny tak, aby se u nich dal ověřit princip vyhodnocení porušení textilie, ale nebyl řešen způsob odesílání dat a konstrukce vysílače. Výstup z elektronického vyhodnocovacího obvodu je uzpůsoben tak, aby se dalo přerušení vodičů jednoduše simulovat i bez použití osciloskopu. Na výstup byly tedy umístěny LED diody, ze kterých je možné odečíst souřadnici polohy přerušení vodiče v podobě binárního čísla. Rozsvícená LED dioda reprezentuje jedničku v binární soustavě. Více diod potom reprezentuje číslo vodiče od 0 do $2^N - 1$, kde 2^N je počet vodičů (souřadnic) v tkanině a N je počet LED diod udávajících binární kód.

Byly navrženy tři metody pro řešení vyhodnocování přerušení zatkaných vodičů a dvě z nich prakticky realizovány.

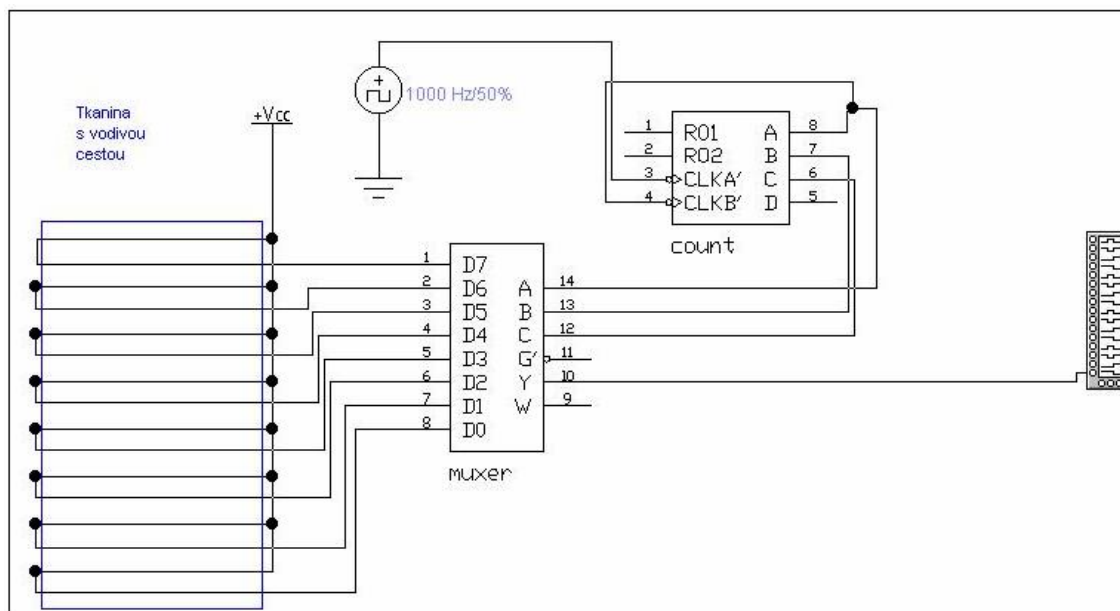
1. pomocí multiplexoru
2. pomocí mikroprocesoru Atiny26(L) s diodovou maticí
3. pomocí mikroprocesoru Atiny26(L) s odporovou maticí

Metody 1 a 2 byly postaveny na nepájivém poli a byla ověřena jejich funkčnost. Ta byla ověřována pomocí vytažení vodičů z pole nebo jejich uzemnění, což má stejný účinek při vyhodnocování jako přerušení vodičů v textilním senzoru a nebylo potřeba vzorek zničit porušením tkaniny.

6.4.1. Vyhodnocovací obvod realizovaný pomocí multiplexoru

Zapojení bylo navrženo v programu Electronics Workbench, ve kterém jde nasimulovat funkce obvodu a zobrazit výsledné průběhy jako na osciloskopu. Poté byl obvod realizován s reálnými součástkami na nepájivém poli. Po odzkoušení obvodu a zobrazení průběhů na osciloskopu musel být obvod ještě doplněn o další součástky, které zaručují jeho plnou funkčnost. Simulační program zanedbává některé vlivy, které se však projeví u reálného zapojení.

U ilustrace principu vyhodnocovacího obvodu (obr. 44.) jsou použity demonstrační obvody, které mají pouze vstupy a výstupy zajišťující danou funkci obvodu, ale oproti reálnému zapojení nemají napájení atd. a multiplexor je pouze osmivstupový kvůli přehlednosti obrázku.



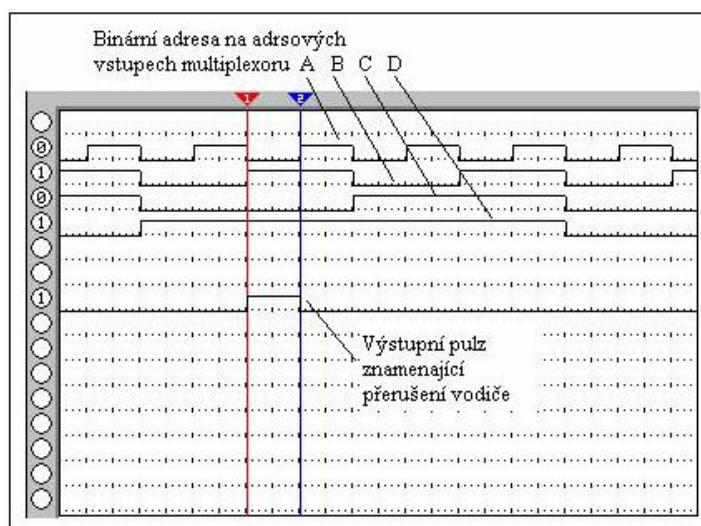
Obr. 44 Ilustrace principu vyhodnocovacího obvodu pomocí multiplexoru

Základ tohoto vyhodnocovacího obvodu je v reálu šestnáctivstupový multiplexor (muxer). Vstupy (D0-D7) multiplexoru jsou připojeny na zatkané měděné vodiče. Tyto vodiče jsou připojeny na zdroj elektrické energie, tedy na baterii. Šestnáctivstupový multiplexor zajišťuje rozlišení pouze šestnácti souřadnic, je tedy nutné zvýšit citlivost pomocí propojení sousedních vodičů. Výhodné je, aby připojení vodičů na baterii bylo na stejné straně tkaniny, jako je vyhodnocovací obvod, jak je vidět na obr. 44. Vyhodnocovací obvod je také napájen z baterie a je tudíž jednodušší s ní propojit i zatkané vodiče. Jinak by musel jeden z vodičů sloužit jako přívod elektrické energie na druhou stranu tkaniny. Tento vodič však nemůže být využit při vyhodnocování, protože jeho přerušení by znamenalo odpojení všech vodičů od baterie. Z tohoto důvodu je vhodné propojovat sousední vodiče do skupin se sudým počtem, tedy dvojice, čtveřice či šestice atd..

Multiplexor je adresován kruhovým čítačem(count). Kruhový čítač načítá impulzy z generátoru a vytváří na svých výstupech postupně binární kombinaci

odpovídající číslům 0 až 15. Po dosažení čísla 15 znovu začne načítat od čísla 0. Tyto výstupy jsou propojeny s adresovými vstupy multiplexoru. Každé číslo 0 až 15 tedy udává adresu jednoho vstupního kanálu (na obr. 44 značeny písmenem D). Adresa na adresovém vstupu tedy otevře vstupní kanál (0-15) příslušné adresy a hodnota, která je na tomto vstupu se objeví na výstupu.

Při přerušení zatkaného vodiče dojde k odpojení příslušného vstupního kanálu od baterie, tento vstup potom reprezentuje logickou hodnotu "0". Když je vodič v pořádku, to znamená, že jím protéká elektrický proud, je hodnota vstupního kanálu logická "1". Výstup reálného multiplexoru je invertovaný, takže logická hodnota "1" (neporušený vodič) na vstupu se na výstupu projeví jako "0". Z toho vyplývá, že při porušení vodiče je na výstupu "1", na výstupu je tedy jedničkový pulz (obr. 45)

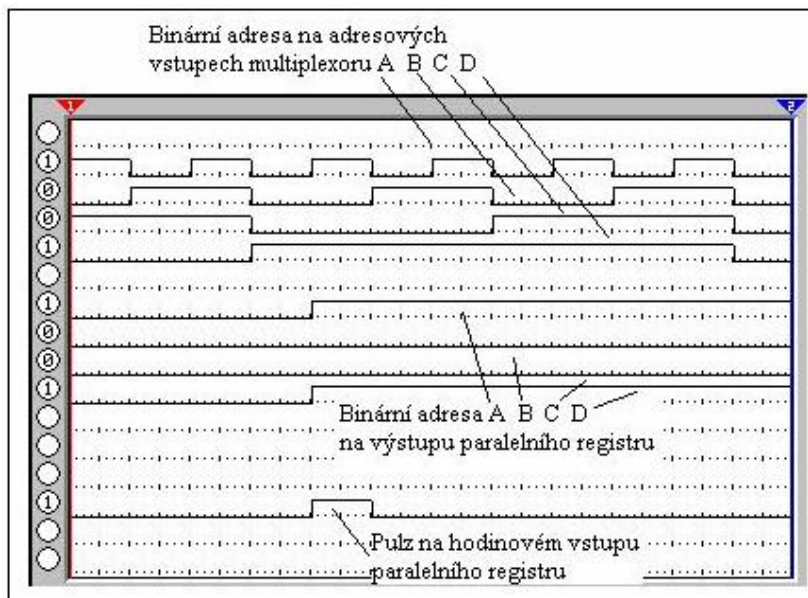


Obr. 45 Výstup multiplexoru

Na obr. 45 můžeme identifikovat porušení vodiče díky pulzu na výstupu multiplexoru. Porušen byl vodič, který je reprezentován binární hodnotou DCBA=1010 (adresa kanálu), tedy po převodu do dekadické soustavy je to souřadnice 10. Délka (čas) pulzu na výstupu je dána časem, po který je příslušná adresa na adresovém vstupu, tedy frekvencí generátoru pulzů, který je připojen na vstup čítače. Vyhodnocovací obvod může zaregistrovat víc porušení na jednou. Na jeho výstupu se tedy objeví víc pulzů.

Vyhodnocování výstupu multiplexoru jako sériové informace, která má velikost dva bajty, je nevýhodné. Proto byl obvod doplněn o paralelní registr. Na paralelní vstupy registru je přivedena adresa z čítače (adresa kanálu), do registru se tato hodnota zapíše, když je na jeho hodinovém vstupu logická "1". Když je výstup multiplexoru

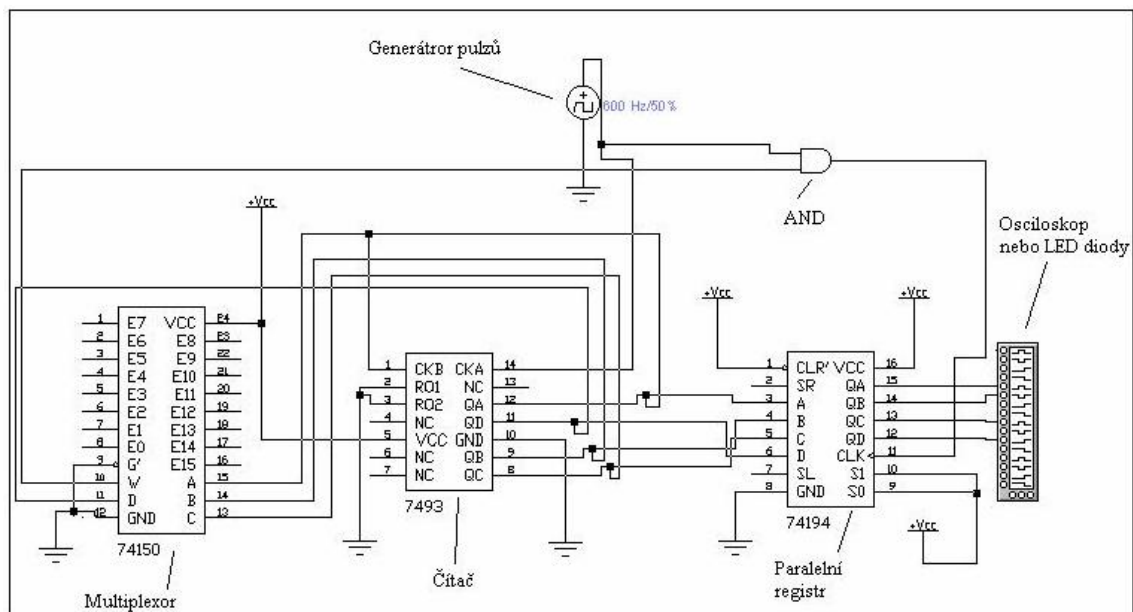
připojen na hodinový vstup registru, tak pulz (porušení) aktivuje registr a do něj se zapíše (objeví se na jeho výstupu) binární adresa otevřeného kanálu. Způsob zapisování do registru je na obr. 46.



Obr. 46 Zápis do paralelního registru

Při reálném odzkoušení obvodu, který na simulaci fungoval byla zjištěna chyba funkčnosti způsobená nestandardním chováním součástek. Na výstup paralelního registru se zapisovaly všechny hodnoty, které se objevily na jeho vstupu i bez aktivace hodinového vstupu pulzem, který znamená přerušení vodiče. Při bližším proměření osciloskopem se ukázalo, že na výstupu multiplexoru se při každém posunu na následující adresu objeví statický hazard, tedy nežádoucí krátký pulz, který vznikne na výstupu obvodu po změně vstupních signálů, přestože podle pravdivostní tabulky se výstup měnit nemá. Tento hazard způsoboval aktivaci registru a zápis adresy do něj, přestože na výstupu z multiplexoru nebyl pulz porušení vodičů. Tento problém byl odstraněn doplněním o logický obvod AND, na jehož vstupy jsou připojeny generátor hodinových pulzu a výstup multiplexoru. Logický součin AND potom na svém výstupu dává "1" pouze, když je "1" na obou vstupech. Při průchodu hradlem vzniká časové zpoždění, které zabrání, aby statický hazard způsoboval zapsání adresy kanálů do registru.

Celé zapojení je na obr. 47, vstupy multiplexoru (E0-E15) nejsou zapojeny kvůli přehlednosti.



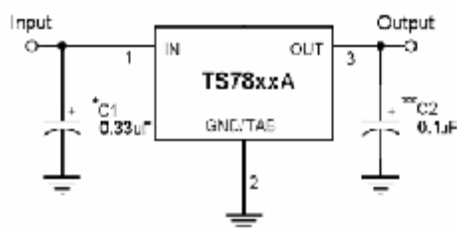
Obr. 47 Zapojení vyhodnocovacího obvodu

Generátor pulzu byl vytvořen pomocí časovače 555 zapojeného jako astabilní klopný obvod s frekvencí 592 Hz. Aby mohl být obvod připojen na baterii, byl na vstup umístěn integrovaný stabilizátor napětí na 5V.

Další doplnění v reálné aplikaci musí být uzemnění všech kanálů multiplexoru (E0-E15) přes odpory s hodnotou 10-100 kΩ. Když nejsou vstupy multiplexoru zapojeny, je na nich předdefinovaná logická úroveň "1". To znamená, že při přerušení vodiče by na vstupu zůstala "1", takže na výstupu by byla "0". Když je vodič neporušen (protéká jím proud), tak na odporu vzniká pouze úbytek napětí, ale informace vstupuje do multiplexoru. Při přerušení je vstup přes odpor uzemněn, tedy definován jako "0".

6.4.1.1. Integrovaný stabilizátor napětí na 5V (TS7805) [42]

Integrovaný stabilizátor napětí stabilizuje vstupní (input) vyšší napětí na danou nižší hodnotu výstupního (output) napětí, v tomto případě na 5V. Zapojení stabilizátoru je na obr. 48

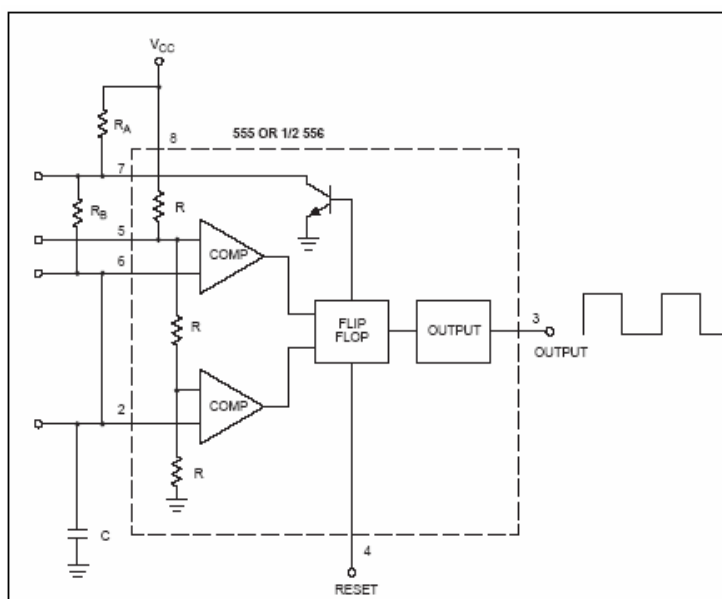


Obr. 48. Zapojení stabilizátoru [42]

6.4.1.2. 555 časovač (NE555N) [43]

Obvod se skládá ze tří shodných odporů, které vytvářejí referenční napětí $1/3U_n$ a $2/3U_n$ pro dva napěťové komparátory (Comp). Oba komparátory neinvertující (pin 6) a invertující (pin 2) ovládají vstupy RS (flip flop) klopného obvodu. Klopný obvod zavádí hysterezi a současně ovládá logický výstup na pinu 3 a otevřený výstup tranzistoru na pinu 7.

Pro tuto aplikaci je vhodné zapojení obvodu 555 jako generátoru pulzů AKO (astabilní klopný obvod), jak je ukázáno na obr. 49, kde je obvod doplněn o odpory označené R_a , R_b a kondenzátor C.

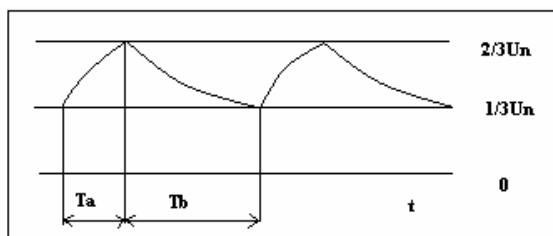


Obr. 49. Zapojení 555 jako AKO [43]

Oba vnější vstupy komparátorů (2, 6) jsou paralelně spojeny a je na nich okamžitá hodnota $u_{c(t)}$. Kombinace odporů R_a , R_b a kondenzátoru C tvoří časovací obvod, ve kterém je odpor rozdělen na dvě části (R_a , R_b). Střed odporů R_a , R_b je připojen na kolektor vybíječícího tranzistoru, jehož stav ovládá:

1. Nabíjení kondenzátoru C - tranzistor je rozepnut. Kondenzátor se nabíjí od hodnoty $U_{c0} = 1/3U_n$ do hodnoty $U_c = 2/3U_n$ ze zdroje přes odpory $R_a + R_b$.
2. Vybíjení kondenzátoru C - tranzistor je sepnut. Kondenzátor se vybíjí od hodnoty $U_{c0} = 2/3U_n$ do hodnoty $U_c = 1/3U_n$ přes kolektor tranzistoru a odpor R_b . Z důvodu omezení kolektorového proudu spínacího tranzistoru se doporučuje velikost odporu $R_a > 4k\Omega$.

Časová konstanta obvodu se tedy mění podle okamžitého stavu. Perioda T generovaného pulzu se skládá ze dvou dílčích hodnot a to intervalů T_a a T_b (obr. 50), které jsou dány nabíjením a vybíjením kondenzátoru C .



Obr. 50 Nabíjení a vybíjení kondenzátoru

Interval T_a - nabíjení kondenzátoru C přes odpory $R_a + R_b$. U_{c0} je menší než napájecí napětí.

$$T_a = t * \ln \frac{U - U_{co}}{U - U_c} = (R_a + R_b) * C * \ln \frac{U - \frac{1}{3}U_n}{U - \frac{2}{3}U_n} = (R_a + R_b) * C * \ln 2 \quad (11)$$

Interval T_b - vybíjení přes odpor R_b od hodnoty $2/3 U_n$ do hodnoty $1/3 U_n$

$$T_b = t * \ln \frac{U_{co}}{U_c} = R_b * C * \ln \frac{\frac{2}{3}U_n}{\frac{1}{3}U_n} = R_b * C * \ln 2 \quad (12)$$

Perioda pulzu T je tedy součtem hodnot T_a a T_b

$$T = T_a + T_b = (R_a + R_b) * C * \ln 2 + R_b * C * \ln 2 = (R_a + 2 * R_b) * C * \ln 2 \quad (13)$$

$$T = 4,3k\Omega + 2 * 10k\Omega * 100nF * \ln 2 \cong 0,00169s$$

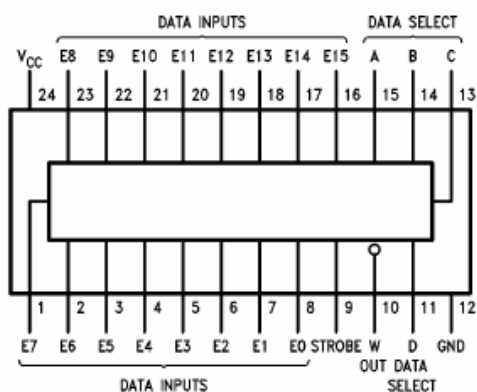
Z periody T můžeme dále vypočítat frekvenci f

$$f = \frac{1}{T} \cong \frac{1,44}{(R_a + 2 * R_b) * C} \quad (14)$$

$$f = \frac{1}{0,0017} = \frac{1,44}{(4,3k\Omega + 2 * 10k\Omega * 100nF)} \cong 592Hz$$

6.4.1.3. Multiplexor (MH74150) [44]

Multiplex znamená přenos velkého množství informací prostřednictvím menšího množství kanálů. Multiplexor 74150 je obvod, který vybírá z šestnácti vstupů pomocí čtyř výběrových (adresových) vstupů a informace přicházející na tyto vstupy řadí podle aktuální adresy na výběrových vstupech za sebe do jednoho výstupu. Jedná se tedy o převod paralelní informace na sériovou. Zapojení multiplexoru 74150 je na obr. 51. Tab. 6 ukazuje způsob adresování jednotlivých vstupů E0-E15 pomocí adresových vstupů A, B, C, D



Obr. 51 Schéma vývodů multiplexoru 75150 [44]

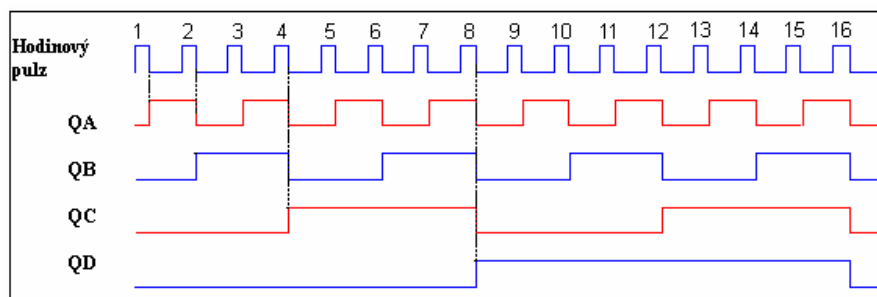
Inputs					Outputs W
Select				Strobe S	
D	C	B	A		
X	X	X	X	H	H
L	L	L	L	L	E0
L	L	L	H	L	E1
L	L	H	L	L	E2
L	L	H	H	L	E3
L	H	L	L	L	E4
L	H	L	H	L	E5
L	H	H	L	L	E6
L	H	H	H	L	E7
H	L	L	L	L	E8
H	L	L	H	L	E9
H	L	H	L	L	E10
H	L	H	H	L	E11
H	H	L	L	L	E12
H	H	L	H	L	E13
H	H	H	L	L	E14
H	H	H	H	L	E15

Tab. 6 Funkční tabulka multiplexoru 75150 [44]

6.4.1.4. Čítač (SN74LS93) [45]

Čítač je obvod složený z bistabilních klopných obvodů, které čítají vstupní impulzy. Načítaný stav je zapamatován v klopných obvodech a je k dispozici na

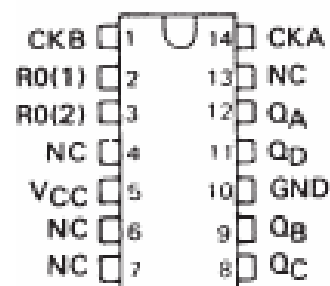
výstupu. Obvod 7493 je binární 4 bitový čítač, to znamená, že poskytuje na výstupu 4 bitovou binární adresu. Na vstup CKA přivádíme hodinový impuls a na výstupech Q_A , Q_B , Q_C , Q_D je přesná binární reprezentace čísla udávajícího pořadí vstupního hodinového impulsu (obr. 52, tab. 7). Na obrázku 53 je popis čítače 7493. Při zapojení čítače musí být výstup Q_A spojen se vstupem CKB a alespoň jeden z resetů (pin 2 nebo 3) musí být připojen na zem, aby obvod čítal.



Obr. 52 Signál na výstupech po vstupu hodinového pulzu [46]

COUNT	OUTPUT			
	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H

Tab. 7 Tabulka reprezentace hodinového pulzu binárním číslem [45]



Obr. 53 Schéma zapojení čítače 7493 [45]

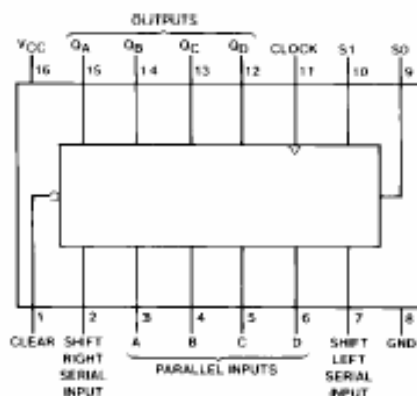
6.4.1.5. Univerzální 4-bitový registr (MB74LS194A) [47]

Registry jsou synchronní sekvenční logické obvody složené z kaskády bistabilních klopných obvodů. Slouží jako paměť datového slova šířky N bitů s možností paralelního nebo sériového zápisu, k posunu datového slova vlevo nebo vpravo, k rotaci datového slova (kruhový registr) nebo k převodu datového slova z paralelního tvaru na sériový a obráceně. Integrovaný obvod 74194 je univerzální

4 bitový registr. Jeho univerzálnost spočívá v tom, že může pracovat jako paralelní nebo sériový registr s možným posunem při zápisu vlevo nebo vpravo. Nastavení funkce registru je v tab. 8 a schéma rozmístění pinů na obr. 54.

INPUTS										OUTPUTS			
CLEAR	MODE		CLOCK	SERIAL		PARALLEL				QA	QB	QC	QD
	S1	S0		LEFT	RIGHT	A	B	C	D				
I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	I	I	I	I
H	X	X		X	X	X	X	X	X	QA0	QB0	QC0	QD0
II	II	II		X	X	a	b	c	d	a	b	c	d
H	I	H		X	H	X	X	X	X	H	QHn	QHn	QHn
H	L	H		X	L	X	X	X	X	L	QLn	QLn	QLn
II	II	I		II	X	X	X	X	X	QIn	QIn	QIn	II
H	H	L		L	X	X	X	X	X	QIn	QIn	QIn	L
II	L	L	X	X	X	X	X	X	X	QA0	QB0	QC0	QD0

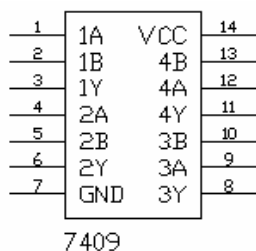
Tab. 8 Funkční tabulka zapojení registru 74194 [47]



Obr. 54 Schéma zapojení registru 74194 [47]

6.4.1.6. AND (T74LS09B1) [48]

Logické hradlo AND je obvod, který realizuje logický součin. Pravdivostní tabulka (tab. 9) a zapojení je na obr. 55.



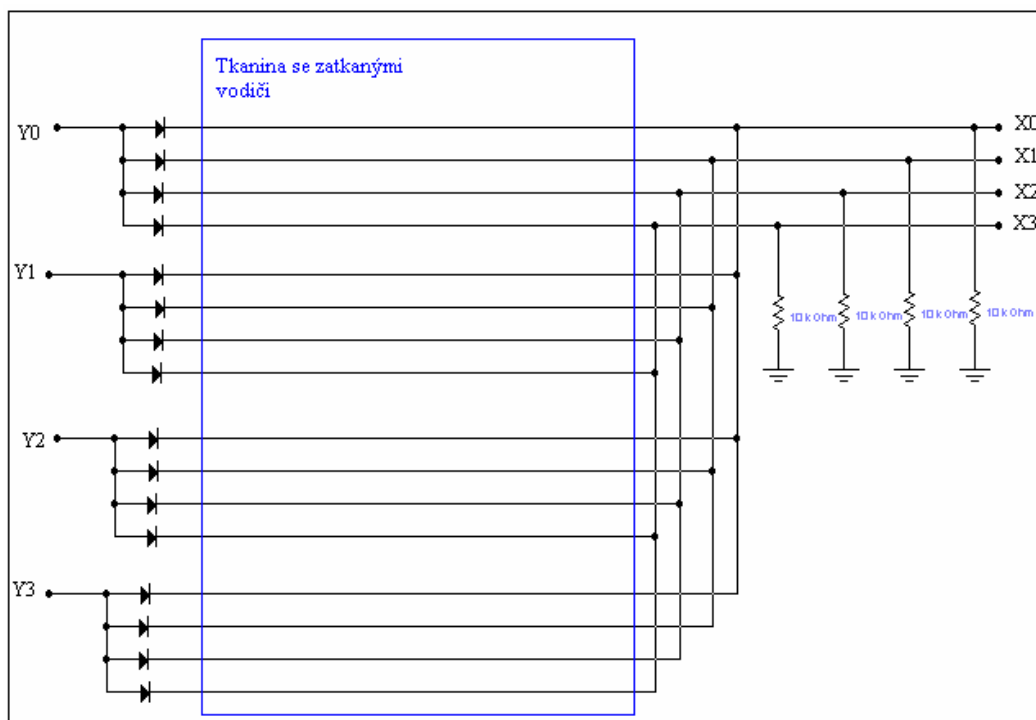
Obr. 55 Zapojení AND [48]

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tab. 9 Pravdivostní tabulka [48]

6.4.2. Vyhodnocovací obvod ATiny26(L) s diodovou maticí

Vyhodnocovací obvod je řešen pomocí programu. Základem je naprogramovaný 8-bitový mikroprocesor ATiny26(L) a matice vytvořená z diod (obr. 56)

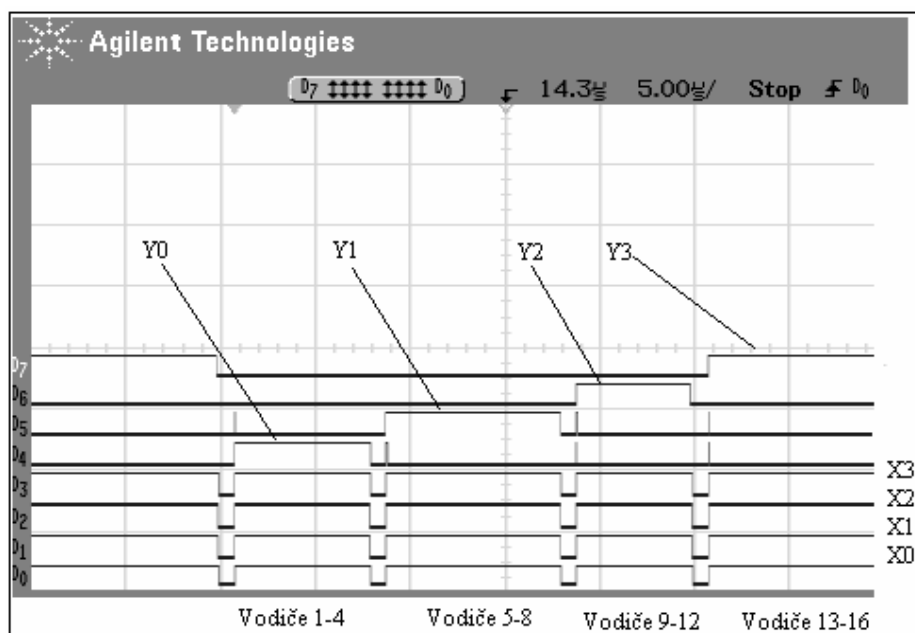


Obr. 56 Diodová matice

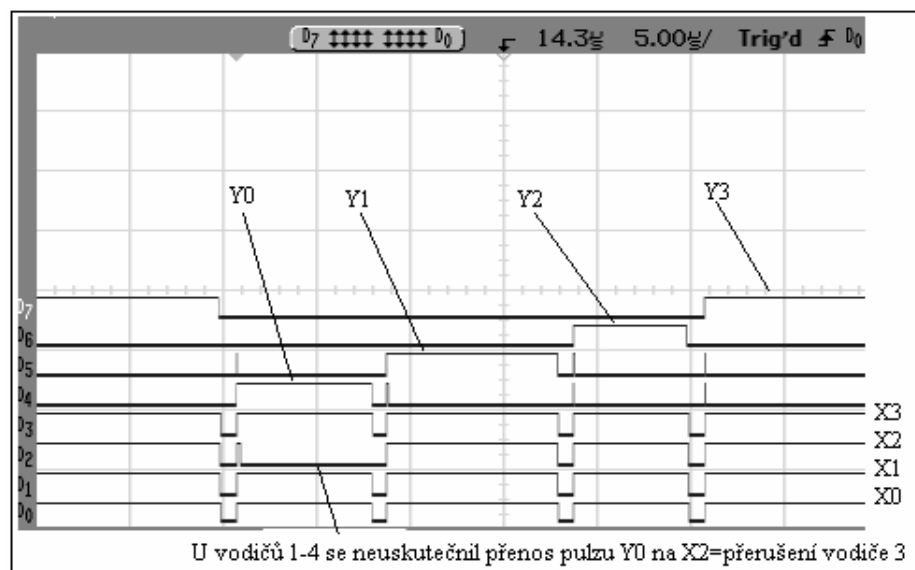
Mikroprocesor zde kromě vyhodnocování, tedy výstupu, zajišťuje i vstup informace (průchod elektrického proudu) do zatkaných vodičů. Matice má dvě strany X-ovou přijímací a Y-ovou vysílací. Přijímací strana musí být uzemněna přes odpory (hodnota 10 kΩ), aby při přerušení byla definována logická úroveň na pinech mikroprocesoru.

Maticové pole bylo vytvořeno pro demonstraci s 16 diodami, aby bylo snadno realizovatelné a porovnatelné s šestnástivstupovým multiplexorem. Matice by se dala rozšířit a tím by se zvýšilo rozlišení. ATiny26(L) má šestnáct pinů, které se dají použít jako vstup nebo výstup. Počet vstupů a výstupů do diodové matice musí být stejný, takže počet rozlišitelných úrovní (souřadnic) by byl dán počtem pinů, které by byly využity k odesílání informace o místě porušení do komunikačního zařízení (vysílače). V této aplikaci pro demonstraci byly jako výstup použity LED diody.

Vyhodnocování porušení je velmi jednoduché. Na vysílací straně se postupně aktivují piny Y0 až Y3, takže vždy dojde k propojení jednoho pinu strany Y s piny přijímací strany X0,X1,X2 a X3, tím zjistíme zda je spojení vodivé, tedy jestli jím může protékat proud (obr. 57, 58). V tomto případě se vždy kontroluje najednou čtveřice diod (vodičů). Vyhodnocení porušení vodiče zde bylo přizpůsobeno výstupu informace o porušení na LED diody.

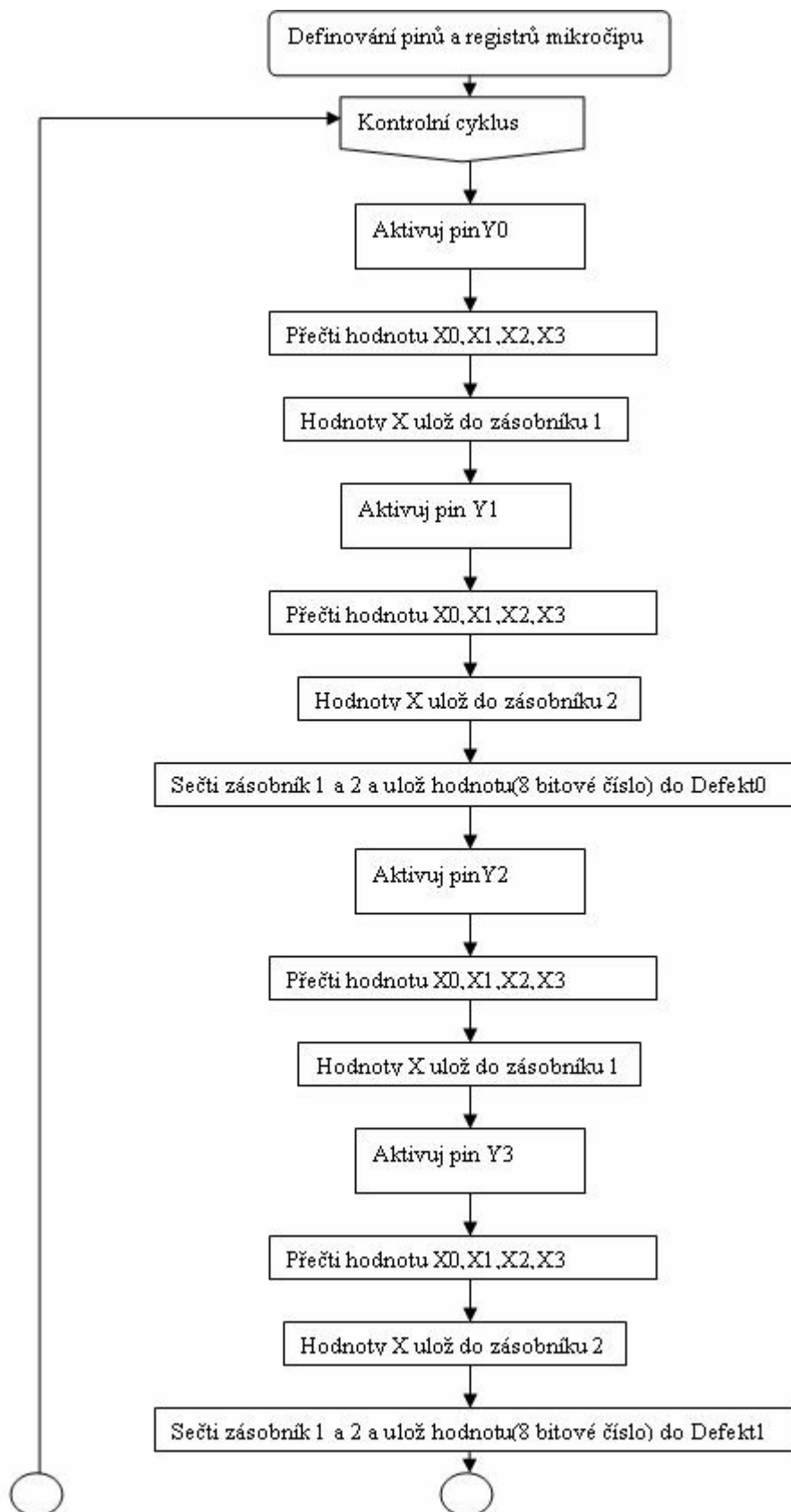


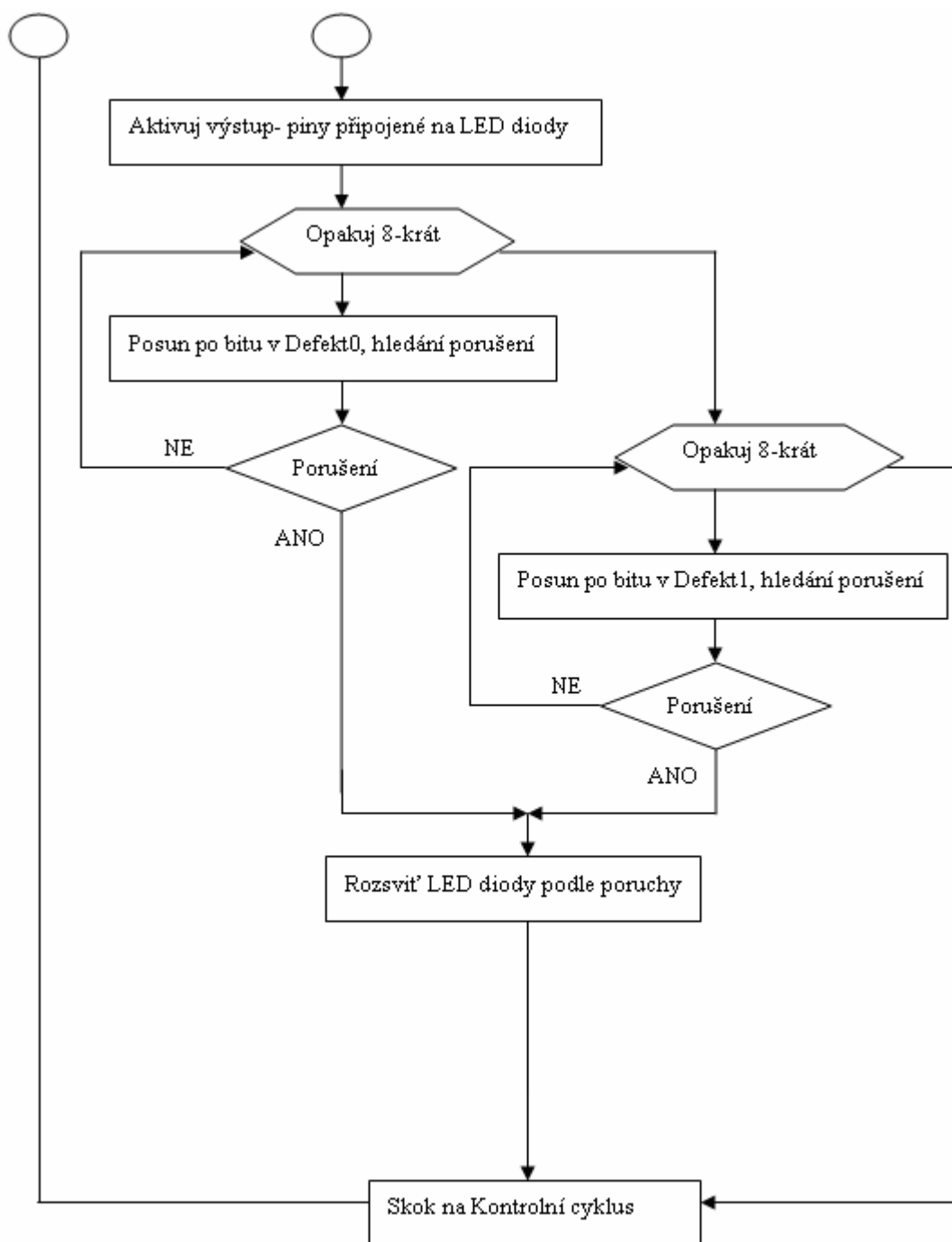
Obr. 57 Průběhy na jednotlivých pinech- Bez přerušení



Obr. 58 Průběhy na jednotlivých pinech- Přerušení vodiče 3

6.4.2.1. Vývojový diagram





Obr. 59 Vývojový diagram.

Program (znázorněn diagramem na obr. 59) byl vytvořen v programovacím jazyce Assembler, pomocí programu PonyProg byl zkompileován a přes sériové rozhraní nahrán na mikroprocesor.

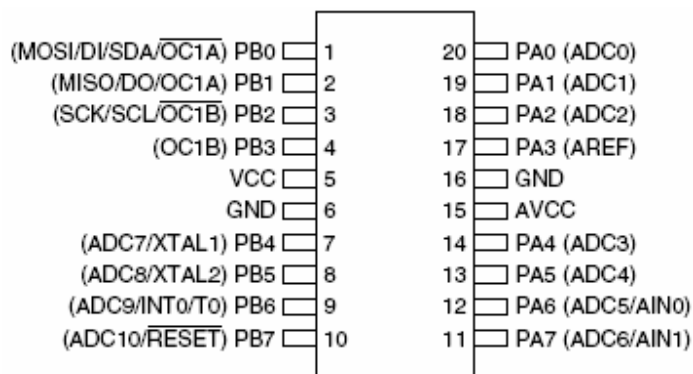
6.4.2.2. ATtiny26(L) [49]

ATtiny26(L) je nízko spotřebavý programovatelný CMOS(logika čipu) 8-bitový mikroprocesor založený na RISC (Reduced Instruction Set Computer) architektuře, což je architektura uspořádání CPU (Central Processing Unit). Provedení instrukce v jednom cyklu u ATtiny26(L) dosahuje rychlosti blíží se 1 MIPS(milion instrukcí za sekundu).

Mikroprocesor ATtiny26(L) je složitý obvod, jehož katalogový list má přes 180 stránek, proto bude pro ilustraci schopností a vlastností tohoto obvodu představen pouze v bodech. Rozložení jednotlivých pinů je vyobrazeno na obr. 60.

- 118 instrukcí - většina zpracovávaných v jednom strojovém cyklu
- 32 8-bitových pracovních registrů
- plně statický provoz
- 2 kilobajtová programovatelná Flash paměť s odolností 10.000 cyklů zápis/výmaz
- 128 bajtová programovatelná paměť EEPROM s odolností 100.000 cyklů zápis/výmaz
- 128 bajtová vnitřní paměť SRAM
- programovatelné uzamknutí programu ve Flash paměti a ochrana dat na EEPROM paměti
- 8-bitový čítač/časovač
- 8-bitový vysokorychlostní časovač
- 2 vysokofrekvenční PWM (pulzně šířková modulace) výstupy s výstupním srovnávacím registrem
- univerzální sériové rozhraní
- 10-bitový analogově-digitální(AD) převodník
- AD převodník s 11 jednotlivými koncovými kanály
- AD převodník s 8 rozdílovými kanály
- 7 rozdílových párových kanálů s programovatelným ziskem (1x, 20x)
- analogový komparátor
- externí přerušení

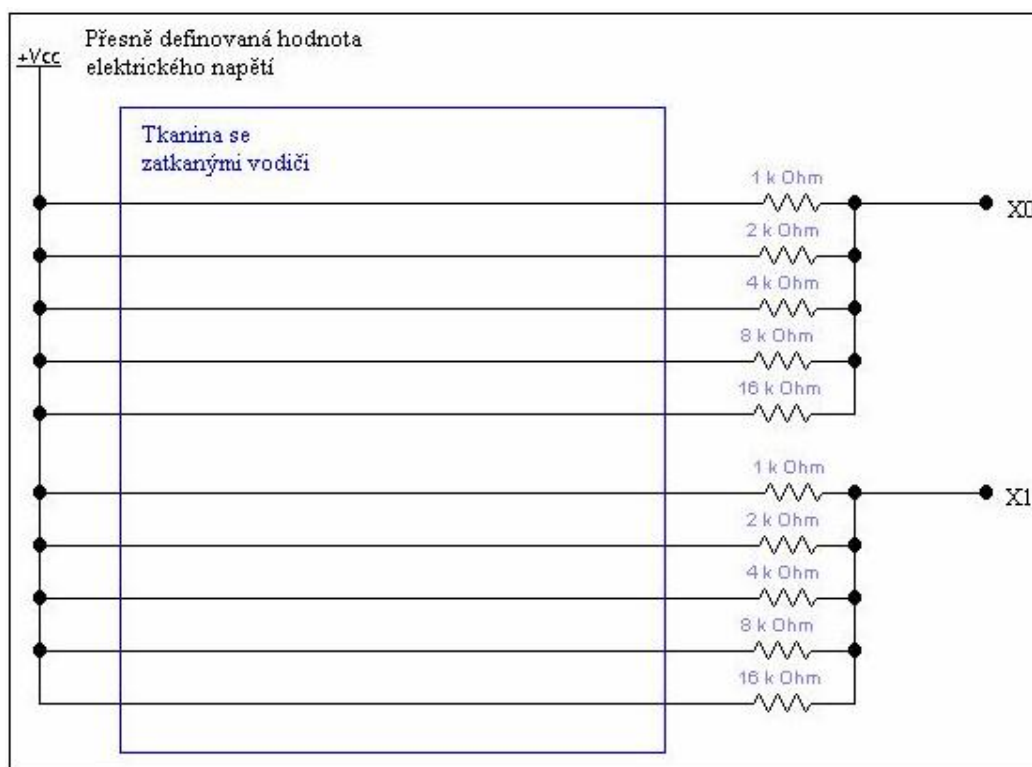
- programovatelný hlídací časovač s odděleným oscilátorem
- 4 softwarově volitelné režimy úsporného napájení
 1. Low Power Idle režim - zastaví se činnost CPU a umožňuje pouze činnost čítači/časovači a přerušovacímu systému
 2. Noise Reduction režim - v tomto režimu, který slouží k redukci šumu, funguje pouze AD převodník
 3. Power-down režim - v tomto režimu se uloží náplň registrů, ale zamrzne oscilátor a vyřadí se všechny další funkce mikroprocesoru, dokud nepřijde další přerušení nebo hardwarový reset
 4. Standby režim - je stejný jako Power-down režim, ale je možný přístup externího oscilátoru
- externí a interní zdroj přerušení
- systémový programovatelný SPI port
- interní kalibrovaný RC oscilátor
- 20-vývodové uložení PDIP/SOIC s 16 programovatelnými piny vstup/výstup, obvod může být také realizován jako 32-vývodový QFN/MLF
- napájení mezi 2,7 - 5,5 V
- rychlostní stupně 0 - 8 MHz
- spotřeba při 1 MHz, 3V a teplotě 25°C je:
 1. Aktivní mód 0,7 mA
 2. Idle mód 0,18mA
 3. Power-down mód $< 1 \mu\text{A}$



Obr. 60 Rozložení pinů ATtiny26(L) [49]

6.5.1. Vyhodnocovací obvod ATiny26(L) s odporovou maticí

Vyhodnocovací obvod je opět řešen programově pomocí mikroprocesoru a matice. Matice je zde tvořena odpory (obr. 61)



Obr. 61 Odporová matice

Princip vyhodnocování je založen na možnosti zapojení 11 pinů mikroprocesoru ATiny26(L) jako 10-bitového AD převodníku. Zatkané vodiče jsou připojeny na přesně definované napětí. Na vstupu mikroprocesoru (AD převodníku) se potom objevuje hodnota tohoto napětí zmenšená o úbytek vzniklý na odporovém poli. Při porušení vodiče je daný odpor vyřazen z pole a dochází ke změně měřeného napětí. Hodnoty odporů jasně definují velikost napětí vzniklého při jejich vyřazení z matice, to znamená, že může být identifikován přerušený vodič, který byl na daný odpor připojen.

6.5. Porovnání metod

Každá z navržených metod má své klady a zápory, které určují její charakter a vhodnost pro praktické využití.

- **Metoda s multiplexorem**

Toto řešení je velice jednoduché a dá se velmi snadno realizovat (postavit). Nejsou k němu potřeba žádné další přístroje kromě samotných součástek a napájecího pole nebo desky, na kterou se součástky osadí.

Jednoznačnou nevýhodou je omezený počet vstupů multiplexoru, vyrábí se nejvíce šestnáctivstupový. Senzor by tedy měl pouze šestnáct vyhodnocovacích úrovní (souřadnic přerušení). To znamená, že by muselo dojít k velkému zvýšení citlivosti, aby byl senzor použitelný pro žádanou plochu neprůstřelné vesty.

Další nevýhodou je nutnost použití poměrně velkého množství součástek, což znamená potřebu mnohem větší plochy pro osazení než u metod s mikroprocesorem a vyšší spotřebu elektrické energie. Plocha plošného spoje by měla být co nejmenší, aby se dal obvod umístit pod neprůstřelnou vestu a neomezoval v pohybu.

Z výše uvedeného vyplývá, že tato metoda není příliš vhodná pro praktické využití.

- **Metody s mikroprocesorem**

Metody, u kterých je vyhodnocování řešeno pomocí programu, se jeví pro praktické užití jako mnohem výhodnější z mnoha důvodů.

Asi nejdůležitější důvod je možnost vytvořit aplikaci, která má mnohem více rozlišovacích úrovní, takže nemusí být zvyšována citlivost (nebo pouze minimálně). Může být využit mikroprocesor, který bude mít velký počet vstupů/výstupů. Díky tomu pak po přizpůsobení matice lze rozlišit úrovně bez zvyšování citlivosti nebo připojení senzoru místa porušení pod předním i zadním dílem neprůstřelné vesty na jeden mikroprocesor.

Další výhodou je možnost již v programu vyhodnotit informaci ze vstupů a upravit ji do formy vhodné pro odesílání do komunikačního zařízení (vysílač).

Výhodou mikroprocesorů je i možnost nižšího napájecího napětí. Například v praktické realizaci použitý mikroprocesor ATiny26(L) může být napájen napětím

pouze 2,7V narozdíl od metody s multiplexorem, u které použité TTL součástky potřebují napájecí napětí 5V.

Metody řešení vyhodnocování pomocí naprogramovaného mikroprocesoru jsou pro praktickou aplikaci tedy mnohem výhodnější. Navíc stačí vytvořit pouze jeden program, který je pak do mikročipů nahráván. Programové řešení je flexibilní a díky tomu, například při změně komunikačního zařízení a potřebě upravit data, která jsou z vyhodnocování obvodu odesílána do tohoto zařízení, stačí malý zásah do programu. Stejně tak volba počtu rozlišovacích úrovní může být lehce volena podle parametrů textilního senzoru.

- **Metoda s diodovou maticí**

Tato metoda je výhodná pro svojí jednoduchost, skládá se pouze z diodové matice a mikroprocesoru. Není závislá na přesnosti, takže je velmi spolehlivá.

Její velkou nevýhodou ovšem je, že mikroprocesor slouží jako vysílač i přijímač informace o stavu vodičů, takže piny mikroprocesoru musí být připojeny na obě strany tkaniny. Toto je ovšem značně nevýhodné, protože krajní vodiče senzoru musí být využity jako vodiče pro spoj jedné strany tkaniny a pinů mikroprocesoru.

- **Metoda s odporovou maticí**

Metoda s odporovou maticí je výhodnější oproti metodě s diodovou maticí, protože druhou stranu tkaniny stačí propojit jediným vodičem nebo zvýšit dvojnásobně citlivost spojením dvou sousedních vodičů a tím dosáhnout, že připojení na napětí bude na stejné straně tkaniny jako je mikroprocesor.

Další výhodou je možnost vysokého rozlišení (velký počet souřadnic) díky možnosti připojit na vstup více odporů. Jejich počet je omezen rozlišením AD převodníku.

Nevýhodnou je velká závislost na přesnosti měření napětí. To vyžaduje vysokou přesnost součástek (odporů) a přesně definované dané napětí v zatkaných vodičích. Hodnoty odporů v matici jsou též závislé na tom, jaké hodnoty jsou vyráběny, to znamená na takzvaných odporových řadách.

- **Všechny tři metody**

Všechny tři navržené metody umožňují v principu identifikaci vícenásobného porušení vodičů. Demonstrační výstup na LED diody však tuto identifikaci neumožňuje.

7. Závěr

Tato práce se zabývá oblastí pasivních inteligentních textilií a možností jejich uplatnění jako součástí oděvu. Oblast inteligentních textilií a nositelné elektroniky je velice perspektivní a postupně se stává velmi důležitou součástí moderního textilního průmyslu. Dynamický rozvoj elektroniky, její miniaturizace a snižování cen dává velký prostor sbližování elektroniky a textilu.

Textilní materiál má některé jedinečné vlastnosti, které ostatní materiály nemohou poskytnout. Vývoj nových materiálů a materiálových struktur navíc tuto jedinečnost ještě zdůrazňuje. Propojením s elektronikou a využitím těchto vlastností mohou vznikat zcela nové aplikace, které se mohou uplatnit v mnoha oborech.

Právě možnost různorodosti využití vyvolává požadavek na složení vývojových týmů z odborníků z více oblastí podle dané aplikace. Jednou z oblastí, na které se dá ukázat nutnost mezioborového týmu odborníků, je monitorování zdravotního stavu. Zde mají inteligentní textilie a nositelná elektronika velké možnosti uplatnění. Časově neomezené sledování zdravotního stavu, které bylo dříve z praktických důvodů nerealizovatelné, může přinést nové poznatky v oblasti medicíny. Integrace senzorů biotických funkcí do oděvu a zaznamenávání informací z nich to umožňuje. Zde je nutné, aby odborníci z oblasti medicíny stanovili, jaké funkce organismu, s jakou přesností a jakými specifiky je nutné sledovat. Pak nastává prostor pro vývoj konkrétního senzoru s ohledem na integraci do oděvu. Je nutné ho uzpůsobit tak, aby neomezoval monitorovanou osobu. Což je ostatně obecný požadavek na jakoukoliv nositelnou elektroniku.

V této práci byly uvedeny oblasti, ve kterých mají inteligentní oděvy uplatnění. Dá se předpokládat, že se budou s rozvojem nositelné elektroniky dále rozšiřovat. Kromě speciálních aplikací bude nositelná elektronika pronikat i do konfekční výroby, například jako integrované ovládání pro multimédia, komunikační zařízení atd..

Experimentální část práce se zabývá možností detekce průniku (průstřelu) oděvu. Byly navrženy, odzkoušeny a popsány principy, které umožňují detekovat porušení textilního materiálu a jeho pozici.

Tato řešení jsou však pouze prvním krokem k vytvoření funkčního zařízení, které by bylo schopné provozu v praxi. Navíc, aby senzor průniku předmětu materiálem

plnohodnotně plnil účel pomocníka záchranného týmu, musí být součástí systému, který bude shromažďovat kompletní informace o vitálních funkcích organismu. Směr, kterým by se měl další vývoj metody ubírat dál, se dá rozdělit do několika bodů.

Za prvé by měla být provedena studie v oblasti medicíny zaměřená na stanovení vhodného rozlišení, které při zásahu umožní rozpoznat, jaký rozsah má zranění a jaké orgány mohly být zasaženy. Tato studie by se potom měla stát základem pro vytvoření vhodného softwaru, který by ve vyhodnocovacím středisku zpracovával příchozí informace ze senzoru porušení materiálu a senzorů vitálních funkcí. Vyhodnocené informace by mohly být buď automaticky odesílány záchrannému týmu, nebo by lékař obsluhující software stanovil diagnózu a podle ní instruoval záchranný tým sám.

Za druhé by se mělo vhodně vyřešit bezdrátové odesílání dat ze senzorů s ohledem na využití aplikace. Odesílání dat pomocí mobilního telefonu ve formě SMS zprávy je vhodné pro aplikace, u kterých se monitorovaná osoba pohybuje v místě pokrytém signálem. Pro armádní využití je však závislost na pokrytí signálem, tedy blízkosti převaděče pro signály mobilních telefonů, limitující. Vojáci jsou často nasazeni v odlehlých oblastech, kde není pokrytí, případně jsou převaděče zničeny pro zhoršení komunikačních možností protivníka. Proto by bylo výhodnější data odesílat pomocí radiového vysílače nebo satelitního telefonu.

Za třetí by se měl vhodně navrhnout textilní senzor a následně odzkoušet jeho chování z hlediska mechaniky při reálném porušení materiálu. Měly by být odzkoušeny různé možnosti vytvoření vodivých cest a hledáno řešení, které by umožňovalo začlenění senzoru přímo do oděvu jako u GTWM. To znamená odzkoušení vodivých přízí, vyšívatí vodivých cest nebo tisk vodivými pastami.

S vodivými cestami úzce souvisí propojení senzoru s elektronikou, které je jedním z největších problémů principu. Odzkoušená možnost propojení textilie a elektroniky připájením jednotlivých měděných vodičů na žíly kabelu je sice snadno realizovatelná a nevyžaduje žádné speciální zařízení, ale je velice pracná a pro průmyslovou výrobu nepraktická. Proto je v závislosti na druhu vodivých cest nutné hledat právě možnost propojení, které by se dalo snadno průmyslově realizovat.

Dále by se měl vybrat vhodný textilní materiál, který bude tvořit základ textilního senzoru. Výběr tohoto materiálu by měl záležet na tom, zda bude senzor součástí neprůstředné vesty nebo součástí oděvu.

Za čtvrté by zdroje elektrické energie a umístění elektroniky měly být navrženy tak, aby byl vojákův pohyb omezen pouze minimálně, v ideálním případě vůbec.

Elektronika navíc musí být opatřena odolným krytem, který zajistí její ochranu před poškozením.

Za páté, u senzoru integrovaného jako součást neprůstřelné vesty by se mělo odzkoušet k jakému pohybu neprůstřelné vesty dochází vzhledem k lidskému tělu, protože tento pohyb může zkreslovat informaci o místě průniku předmětu do lidského těla.

Jak ukazuje čerstvá zkušenost armády USA z Iráku, když se zraněný voják dostane do nemocnice, má šanci na přežití okolo 96 procent. Za frontou operují malé mobilní lékařské týmy, které jsou schopné poskytnout již na bojišti poměrně komplexní ošetření nebo přímo vykonat nejnútnejší operace. Do několika minut vzlétají záchranné vrtulníky a raněný je převezen do polní nemocnice, ve kterých umí vykonat téměř veškeré zákroky, kromě transplantace orgánů.

Jak je vidět, přežití zraněného vojáka závisí na čase, ve kterém se dostane do nemocnice. Zde se právě otevírají možnosti pro uplatnění vyhodnocené informace z textilního senzoru porušení materiálu a senzorů vitálních funkcí. Okamžitě po zranění se odesílá informace o zranění a souřadnice GPS. Předsunutý tým tedy může okamžitě vyrazit na místo a přivolat záchranné vrtulníky, což značně zkracuje čas, který uběhne od momentu zranění po příjezd do nemocnice. Tým, který dorazí na místo, už má navíc představu o charakteru zranění.

Díky ochraně neprůstřelnou vestou a helmou dochází nejčastěji ke zranění končetin, proto by měl být textilní senzor porušení rozšířen právě i o monitorování končetin. Když bude systém složený ze senzoru porušení materiálu a senzorů vitálních funkcí vhodně vyroben a uveden do praxe, tak by se mohl stát velice užitečným pomocníkem vojenských lékařů a tím přispět k záchraně lidských životů. A to by bylo velkým úspěchem.

Seznam použité literatury

- [1] P. Lizák, J. Militký: Technické textilie, Nadácia pre rozvoj textilného vysokošk.vzdelávania, 2002
- [2] M. Dostálová, M. Krivánková: Základy textilní o oděvní výroby,TUL Liberec, 2001
- [3] http://www.wearable.ethz.ch/fileadmin/edu/ws2/Kap1SmartCloth_06.pdf
- [4] <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/pdffiles/Electronic-Textiles.pdf>
- [5] <http://www.prazskapetka.cz/node/3395>
- [6] <http://www.military.cz/accessories/Invisibility.htm>
- [7] http://www.wearable.ethz.ch/fileadmin/pdf_files/pub/Marculescu032.pdf
- [8] <http://www.softswitch.co.uk>
- [9] <http://www.automatizace.cz/article.php?a=639>
- [10] http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume2issue2/articles/meoli/meoli_full.pdf
- [11] <http://www.textileworld.com/News.htm?CD=2519&ID=7418>
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Tunneling_Composite
- [13] <http://www.shenfield.essex.sch.uk/tech/Year10Revision/SmartFabrics.doc>
- [14] <http://www.media.mit.edu/hyperins/levis/>
- [15] <http://www.elektex.com/>
- [16] <http://www.svetpda.cz/svetpda/svetpda.nsf/0/206C5A13AD40FC4CC1256B9A006B2104>
- [17] <http://pubs.media.mit.edu/pubs/papers/a13.pdf>
- [18] <http://www.gtwm.gatech.edu/>
- [19] http://www.centexbel.be/images/TIS_Publ_catrysse_2004.pdf
- [20] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/474130-ekg>
- [21] http://en.wikipedia.org/wiki/Common-mode_rejection_ratio
- [22] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/123695-lycra>
- [23] http://www.wearable.ethz.ch/fileadmin/pdf_files/pub/ambience05_locher.pdf
- [24] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/127991-elektricka-vodivost>
- [25] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/448285-merny-elektricky-odpor>
- [26] http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/Vlastnosti_Vlaken-prednaska6.pdf

- [27] <http://www.otevrena-veda.cz/ov/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/16.pdf>
- [28] <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061113/Prednaska02.pdf>
- [29] <http://skripta.ft.tul.cz/data/2007-01-17/12-52-47.pdf>
- [30] http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/2-vysoce_vykonna.pdf
- [31] <http://skripta.ft.tul.cz/data/2006-03-16/12-55-35.pdf>
- [32] http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/rozsirene/Irove/08_preklad.html
- [33] [http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation_\(deposition\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation_(deposition))
- [34] http://en.wikipedia.org/wiki/Sputter_deposition
- [35] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/446711-opticke-vlakno>
- [36] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/79267-pajeni>
- [37] http://users.tkk.fi/~virranko/sensor_networks/alback_clothes.pdf
- [38] http://users.tkk.fi/~virranko/sensor_networks/alback1.pdf
- [39] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/462068-solarni-clanky>
- [40] http://www.volny.cz/buchtik/Revo/Jak/jak_cena.htm#nahore
- [41] <http://www.atmonline.cz/news/2006/prosinec/151206a.htm>
- [42] <http://www.datasheetarchive.com/search.php?q=TS7805&sType=part>
- [43] http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/NE_SA_SE555_C_2.pdf
- [44] http://www.datasheetcatalog.net/datasheets_pdf/7/4/1/5/74150.shtml
- [45] <http://www.chipcatalog.com/Datasheet/CC43E64634445D6B4E75662260C0374E.htm>
- [46] http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/kap6/6_7.html
- [47] http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/7/4/1/9/74194.shtml
- [48] <http://www.datasheetarchive.com/search.php?q=T74LS09B1&sType=part>
- [49] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1477.pdf

Příloha 1 - Program pro ATiny26(L) s diodovou maticí

;detekce prustrelu textilie se zatkanou maticí vodicu

.include "tn26def.inc" ;definice HW registru procesoru

#####

;definice vyznamu pinu procesoru

.equ Pin_LED0 = PB0 ;indikacni LED

.equ Pin_LED1 = PB1

.equ Pin_LED2 = PB2

.equ Pin_LED3 = PB3

.equ Pin_LEDZasah = PB4

.equ PinMatX0 = PA0 ;matice vodicu - s rezistory pull-down a prepínacími diodami

.equ PinMatX1 = PA1

.equ PinMatX2 = PA2

.equ PinMatX3 = PA3

.equ PinMatY0 = PA4 ;Y spoje matice

.equ PinMatY1 = PA5

.equ PinMatY2 = PA6

.equ PinMatY3 = PA7

.equ TstData = PB5

.equ TstClk = PB6

#####

;definice obsahu registru (R16..R31 - obecně použiti, R0..R15 - nelze použít s SUBI, SBCI, ANDI, ORI, CPI,

; R30..R31 - 16 bitový ukazatel Z)

.def S = r1 ;uschova příznaku v rutinách preruseni

.def temp = r16

.def defekt0 = r17 ;jednotlivé bity znamenají defektní vodič

.def defekt1 = r18

.def LoopCounter = r19 ;pocítadlo ve smyčkách

```

.def    temp2            = r20
.def    temp3            = r21                ;pro testy
.def    TestSendByteCounter = r21

;#####

.cseg
;tabulka preruseni
.org 0    ;Reset
        rjmp    Reset

;#####

Reset:   ldi    temp,$A0                ;nastaveni zasobniku
        out    SP,temp

CheckCycle:
;vodice 1-4

        ldi    temp, (1<<PinMatY0);nastavi vodici matice Y na 1
        out    DDRA, temp
        out    PORTA, temp
        nop
        nop

        in     temp2, PINA            ;nacti port A
        mov    temp3, temp2
        andi   temp2, 0x0f            ;vymaskuj = vymaz 4 horni bity
;vodice 5-8

        ldi    temp, (1<<PinMatY1) ;nastavi vodici matice Y na 1
        out    DDRA, temp
        out    PORTA, temp
        nop
        nop

        in     temp, PINA            ;nacti port A
        andi   temp, 0x0f            ;vymaskuj = vymaz 4 horni bity

```

swap temp ;vymen horni a dolni 4 byty

or temp, temp2 ;secti vysledek predchozich a soucasnych 4 bitu
mov defekt0, temp ;uloz do registru defektu vodicu

;vodice 9-12

ldi temp, (1<<PinMatY2) ;nastavi vodici matice Y na 1
out DDRA, temp
out PORTA, temp
nop
nop

in temp2, PINA ;nacti port A
andi temp2, 0x0f ;vymaskuj = vymaz 4 horni bity

;vodice 13-16

ldi temp, (1<<PinMatY3) ;nastavi vodici matice Y na 1
out DDRA, temp
out PORTA, temp
nop
nop

in temp, PINA ;nacti port A
andi temp, 0x0f ;vymaskuj = vymaz 4 horni bity
swap temp ;vymen horni a dolni 4 byty

or temp, temp2; secti vysledek predchozich a soucasnych 4 bitu
mov defekt1, temp ;uloz do registru defektu vodicu

;logika matice a diod je inverzni - zneguj registry

ldi temp, 0xff
eor defekt0, temp
eor defekt1, temp

```

;aktivuj diody
        ldi        temp, 0xff        ;prepni portB na vystup
        out        DDRB, temp

;urci který bit je vadný
        ldi        LoopCounter, 8    ;pocet testovacich pruchodu
        mov        temp, defekt0
        ldi        temp2, 0x00

Led_loop:    ror        temp
        brcs       Led_loopEnd2

        inc        temp2              ;pocitej který bit to je

        dec        LoopCounter
        brne       Led_loop

        ldi        LoopCounter, 8    ;pocet testovacich pruchodu
        mov        temp, defekt1

Led_loop2:   ror        temp
        brcs       Led_loopEnd2

        inc        temp2              ;pocitej který bit to je

        dec        LoopCounter
        brne       Led_loop2

Led_loopEnd2:
        ldi        temp, 0xff
        eor        temp2, temp        ;LED sviti pri bitu 0 - zamen 1-0
        ori        temp2, 0xf0        ;deaktivuj horni 4 bity
        out        PORTB, temp2      ;rozsvit diody, podle toho, který je vadny

;kontroluj pro diodu poruchy
        cpi        defekt0, 0x00
        brne       LED_Zasah

```

```

        cpi        defekt1, 0x00
        brne       LED_Zasah

        sbi        PORTB, Pin_LEDZasah        ;zhansni diodu
        rjmp       LED_OK

LED_Zasah:

        cbi        PORTB, Pin_LEDZasah        ;rozsvit diodu, ze je porucha

LED_OK:

        mov        temp, defekt0
        rcall      Test_SendByte
        mov        temp, defekt1
        rcall      Test_SendByte
        rjmp       CheckCycle

;#####

;vyslani byte v TEMP jako seriove posloupnosti ven na nozicky - pouze pro testovaci
ucely
Test_SendByte: ldi        TestSendByteCounter,8

TestByteSend: cbi        PORTB,TstClk
               lsl        temp
               brcs       no_bitSet
               cbi        PORTB,TstData
no_bitSet:    sbi        PORTB,TstClk
               sbi        PORTB,TstData
               dec        TestSendByteCounter
               brne       TestByteSend
               ret

```